Die Physik,

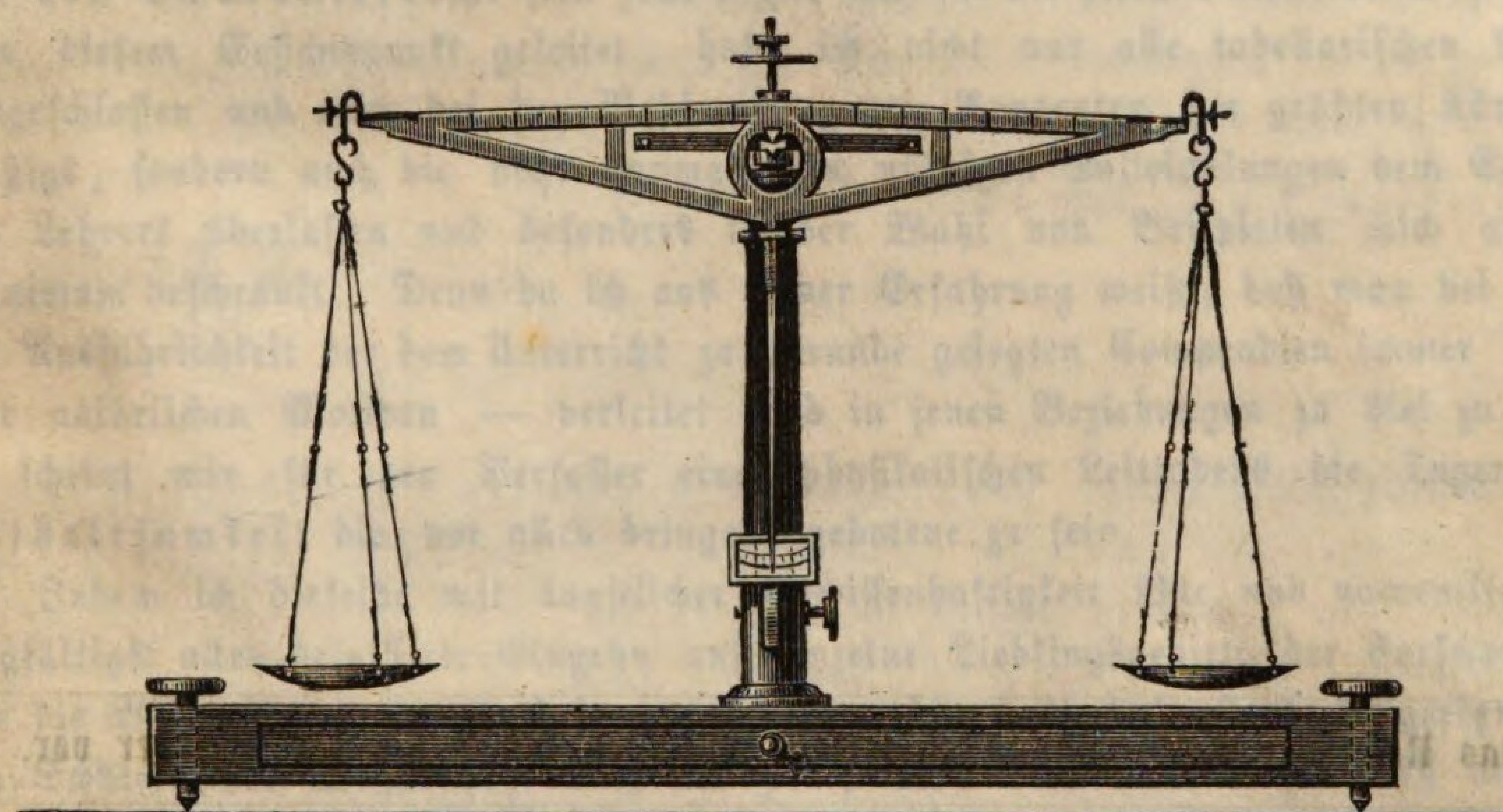
für

den Schul-Unterricht bearbeitet

von

Dr. Ludwig Kambly,

Professor am Gymnasium zu St. Elisabet in Breslau.



Mit 161 in den Text gedruckten Abbildungen.

Ferdinand Hirt,

Königliche Universitäts-Buchhandlung,

Breslau, 1868.

Druck
von Graß Barth & Comp. (W. Friedrich) in Breslau.

Holzschnitte
von Mezger & Probst in Braunschweig.

Papier
von F. Hendler zu Altfriedland in Schlesien.

Vorwort.

Was ich in dem Vorwort zu meiner „Elementar-Mathematik" ausgesprochen habe, daß dieselbe nämlich nicht ein ausführliches Lehrbuch, sondern nur ein *Leitfaden für den Schulunterricht* sein solle, gilt auch für die hiermit erscheinende *Physik*. Von diesem Gesichtspunkt geleitet, habe ich nicht nur alle tabellarischen Notizen ausgeschlossen und mich bei der Beschreibung von Apparaten der größten Kürze befleißigt, sondern auch die nicht unumgänglich nöthigen Entwickelungen dem Ermessen des Lehrers überlassen und besonders in der Wahl von Beispielen mich auf ein Minimum beschränkt. Denn da ich aus eigner Erfahrung weiß, daß man bei größerer Ausführlichkeit der dem Unterricht zu Grunde gelegten Compendien immer — aus sehr natürlichen Motiven — verleitet wird in jenen Beziehungen zu viel zu geben, so scheint mir für den Verfasser eines physikalischen Leitfadens die Tugend der *Enthaltsamkeit* die vor allen dringend gebotene zu sein.

Indem ich dieselbe mit ängstlicher Gewissenhaftigkeit übte und namentlich auch sorgfältigst alles detaillirte Eingehn auf einzelne Lieblingsgebiete der Forschung, so wie die Beschreibung von Versuchen vermied, welche mehr interessant als geeignet sind den Schülern die Wissenschaft aufzuschließen, oder über das Verständniß derselben hinausgehn, glaube ich in Bezug auf Ausführlichkeit das wünschenswerthe *Ebenmaß* in die Darstellung gebracht zu haben. Wo der Lehrstoff etwas eingehender entwickelt werden mußte, mein' ich, daß der Lehrer das Studium des Leitfadens empfehlen und, statt selbst vorzutragen, von den Schülern einen Vortrag darüber verlangen solle.

Ein besonderes Gewicht habe ich auf das *logische Moment* des Unterrichts gelegt, damit die Naturlehre so viel als möglich aufhöre den Schein innerer Zusammenhangslosigkeit zu haben. Man kann dieß nicht bloß an der Erörterung der allgemeinen Eigenschaften der Körper, welche in recht vielen Büchern ohne alle innere Verbindung aufgeführt und besprochen werden, sondern auch an der Anordnung der übrigen Abschnitte, so wie daran erkennen, daß ich, wo der Stoff es zuließ, die Fragen, welche sich zunächst dem Nachdenken zur Beantwortung aufdrängen und deshalb auch zunächst zur Discussion gebracht werden müssen, aus der vorangehenden Darstellung entwickelt habe.

Als *Form des Vortrags* glaubte ich die *dogmatisch-demonstrative* wählen zu müssen, weil in ihr sich schließlich die Gesetze der Naturerscheinungen dem Gedächtniß des Schülers einprägen sollen. Dieß wird den Lehrer nicht hindern,

da, wo es ihm angemessen scheint, inductiv zu verfahren und, wie es in Lehrbüchern geschieht, aus den vorangestellten Thatsachen das Gesetz abzuleiten oder von dem Schüler ableiten zu lassen.

Es ist gebräuchlich, in den physikalischen Compendien das Wichtigste aus der Chemie und der Krystallographie mitzutheilen; ich habe dieß nicht gethan, weil das in dieser Beziehung zum Verständniß der Physik Erforderliche von dem Lehrer beiläufig erwähnt werden kann. Was man aus jenen Gebieten zur Vervollständigung der Compendien hinzuzufügen pflegt, ist für Realschulen nicht ausreichend und für Gymnasien, denen die Naturlehre, für sich allein schon, ein im Vergleich mit der verwendbaren Zeit überreiches Feld darbietet, überflüssig und ungeeignet.

Ein alphabetarisches Register scheint mir für einen Leitfaden nicht angemessen; statt seiner habe ich ein ausführliches Inhalts-Verzeichniß beigegeben.

Mit den ausgesprochenen Principien wird, hoffe ich, die große Mehrzahl meiner Herren Collegen sich einverstanden erklären. Möge es mir nur auch gelungen sein, sie in geeigneter Weise zur Geltung zu bringen.

Daß die mathematischen Citate sich auf meine Elementar-Mathematik*) beziehn, bedarf wohl kaum der Erwähnung.

Breslau, den 2. Juni 1868.

Dr. L. Kambly.

---

*) Elementar-Mathematik. Von Professor Dr. L. Kambly. Vollständig in vier Theilen. Mit zahlreichen Abbildungen. Erster Theil: Arithmetik und Algebra. Zweiter Theil: Planimetrie. Dritter Theil: Ebene und sphärische Trigonometrie. Vierter Theil: Stereometrie.

Inhalts-Verzeichniß.

Erster Abschnitt.

Von den allgemeinen Eigenschaften der Körper.

§ 1—13.

Zweiter Abschnitt.

Von der Bewegung. (Phorometrie.)

§ 14—40.

Dritter Abschnitt.

Statik und Mechanik.

§ 41—74.

I. Statik und Mechanik der festen Körper § 42—48.

Seite.

II. Hydrostatik und Hydrodynamik § 49—59.

III. Aërostatik und Aërodynamik § 60—73.

Vierter Abschnitt.

Vom Schalle. (Akustik.)

§ 75—90.

Fünfter Abschnitt.

Vom Licht. (Optik.)

§ 91—128.

Sechster Abschnitt.
Von der Wärme.
§ 129—145.

Siebenter Abschnitt.
Vom Magnetismus.
§ 146—155.

Achter Abschnitt.
Von der Electricität.
§ 156- 182.

Erster Abschnitt.

Von den allgemeinen Eigenschaften der Körper.

§ 1. Die Physik beschäftigt sich mit den äußeren Veränderungen der unorganischen Körper, ihren Gesetzen und Ursachen.

Die inneren (materiellen) Aenderungen der Körper untersucht die Chemie. (Beispiele.)

Organisch heißt ein Körper, welcher mittelst bestimmter Werkzeuge (Organe) Stoffe von außen aufnimmt, dieselben verarbeitet (assimilirt) und diejenigen, welche er nicht verarbeiten kann, ausscheidet. Die übrigen Körper heißen unorganisch.

Alles, was eine Veränderung an einem Körper hervorruft, nennt man eine Kraft und stellt sie der Materie gegenüber, unter welcher man das versteht, was in unserer Vorstellung von einem Körper zurückbleibt, wenn man alles, was Kraft ist, hinwegdenkt. Von der Materie ist also zunächst nichts zu sagen, als daß sie den Raum erfüllt. Eine Vereinigung von Materie und Kraft heißt Stoff.

Kraft und Materie sind nur Gedankendinge (Abstracta). Alles, was in der Wirklichkeit existirt, ist Stoff.

§ 2. Eine Kraft, welche an einem Körper hervortritt, ist eine Eigenschaft des Körpers.

Die Eigenschaften der Körper theilt man ein in wesentliche (ohne welche man sich einen Körper nicht existirend denken kann) und in unwesentliche oder accidentelle.

Die wesentlichen Eigenschaften sind: Ausdehnung, Figurabilität und Undurchdringlichkeit (Impenetrabilität); d. h. jeder Körper, wie klein er auch sei, muß eine gewisse (übrigens veränderliche) Ausdehnung und Gestalt haben. (Diese beiden Eigenschaften hat der physische Körper mit dem mathematischen gemein.) Und es füllt jeder Körper den Raum, den er einnimmt, so vollständig aus, daß in demselben Raumtheilchen, wo ein Körper ist, nicht auch ein anderer sein kann. Die Undurchdringlichkeit der Körper ist also eine unmittelbare Folgerung aus dem Begriff der Materie: „vollständige Raumerfüllung“.

Beispiele: Die Taucherglocke u. s. w.

Die andern Eigenschaften sind: Bewegbarkeit, Theilbarkeit, Cohäsion, Ausdehnbarkeit, Porosität, Elasticität, Adhäsion, Schwere, Licht, Wärme, Magnetismus und Electricität.

§ 3. Jeder Körper nimmt zwar einen Raum ein, aber nicht nothwendig den, welchen er einnimmt; d. h. er kann seinen Ort verändern, er ist bewegbar. Die Ursache jeder Bewegung (Ortsveränderung) ist (nach § 1) eine Kraft und steht wiederum der Materie gegenüber, unter welcher man also nicht bloß „das den Raum erfüllende", sondern auch „das bewegliche im Raum" versteht.

Die Materie als solche verhält sich schlechthin gleichgiltig gegen Ruhe und Bewegung; d. h. sie bleibt in dem Zustand der Ruhe oder Bewegung, den sie hat, so lange sie nicht durch eine Kraft aus demselben gerissen wird. Dieß ist eine logische Folgerung aus dem Begriff „bewegende Kraft". Man nennt diese „Eigenschaft des Beharrens", welche die Materie hat, auch (nicht ganz zweckmäßig) Trägheit, früher auch vis inertiae.

§ 4. Daß ein Körper aus Theilen besteht, folgt aus dem Begriff eines Ganzen; daß aber jeder Körper in Theile zerlegt werden kann (auch der härteste aller Körper, der Diamant), lehrt die Erfahrung.

Namentlich sind die riechenden, färbenden und leuchtenden Stoffe und die dehnbaren und streckbaren Metalle in äußerst kleine Theile theilbar. (Beispiele.)

Die kleinsten Theile, zu denen man kommt, heißen Molecüle, Molekeln (Atome).

§ 5. Viele Körper lassen sich nur schwer theilen; sie leisten einen Widerstand. Dieser hat seinen Grund in dem Zusammenhange der einzelnen Theile, ihrer Cohäsion, welche als eine Folge der gegenseitigen Anziehung (Attraction) der Molecüle anzusehen ist. Solche Körper nennt man feste.

In anderen Körpern zeigt sich das Entgegengesetzte, ein Bestreben der kleinsten Theile sich von einander zu entfernen, eine Abstoßung (Repulsion) der Molecüle. Solche Körper heißen luftförmige Körper (gasförmige Körper, Gase, Luftarten, expansiv-flüssige Körper). Die Kraft, welche diese Körper ausdehnt, heißt Ausdehnsamkeit oder Expansivkraft.

Zwischen beiden Arten Körper stehen die tropfbar-flüssigen oder schlechtweg „flüssigen" (liquiden) Körper, in welchen die genannten beiden Molecularkräfte einander ziemlich das Gleichgewicht halten.

Die 3 Zustände: Festigkeit, Flüssigkeit und Luftform nennt man Aggregatzustände, indem man nämlich unter „Aggregatzustand eines Körpers" sein Verhalten in Bezug auf die beiden Molecularkräfte versteht.

Die Luftform nennt man den höchsten, die Festigkeit den niedrigsten Aggregatzustand.

Diejenigen Gase, welche bei jedem, auch dem größten Drucke und jeder Kälte luftförmig bleiben, heißen permanente Gase, die andern coërcibele oder liquidificirbare. Eine Uebergangsstufe zu den tropfbar-flüssigen Körpern bilden die Dünste und Dämpfe, welche schon bei geringem (oder geringstem) Druck und geringer Erkältung flüssig werden.

Die Festigkeit der festen Körper prüft man in dreifacher Beziehung, nämlich ob sie dem Zerreißen, dem Zerdrücken und dem Zerbrechen zu widerstehen vermögen. Darnach unterscheidet man 3 Arten Festigkeit: die absolute, die rückwirkende und die relative.

Manche Körper haben nach verschiedenen Richtungen verschiedene Festigkeit, z. B.?

§ 6. Bei dieser Prüfung zeigen sich zwei andere Eigenschaften (zunächst) der festen Körper, die Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit.

Denn dem Zerreißen muß das Ausdehnen, dem Zerdrücken das Zusammendrücken, dem Zerbrechen das Biegen vorangehen, nämlich eine Entfernung oder Näherung oder theilweise Entfernung und Näherung der Molecüle — bis zu dem Moment, wo sie den Zusammenhang aufgeben müssen.

Beide Eigenschaften sind eigentlich nur die eine: das Vermögen der Körper, ihr Volumen (ihren räumlichen Inhalt) zu ändern.

Auch die luftförmigen und flüssigen Körper haben diese Eigenschaft, die ersteren in einem hohen Grade.

§ 7. Aus der Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit folgt die Porosität.

Wenn nämlich die Molecüle eines Körpers sich von einander entfernen, so müssen leere Räume (Intervalle) entstehen, welche alsdann vielleicht von andern Stoffen ausgefüllt werden. Solche Intervalle innerhalb — und natürlich auch an der Oberfläche — der Körper nennt man Poren und die Eigenschaft eines Körpers Poren zu haben Porosität.

Dieß folgt auch aus der Zusammendrückbarkeit. Denn wenn es möglich sein soll, daß die Molecüle eines Körpers einander näher kommen, so können sie nicht absolut nahe gewesen sein 2c.

Man unterscheidet 3 Abstufungen der Porosität, nämlich ...? — Schwamm, Kork, Bimstein — Holz, Leder — Hydrophan, Flüssigkeiten.

Je mehr die materiellen Theile eines Körpers zusammengedrängt werden, um so kleiner werden seine Poren, und um so dichter wird der Körper. Die Dichtigkeit eines Körpers nimmt also, wenn die Menge seiner materiellen Theile (seine Masse) dieselbe bleibt, in dem Maße zu, in welchem das Volumen des Körpers abnimmt; d. h. sie ist dem Volumen umgekehrt, der Masse dagegen offenbar direct proportionirt.

Bezeichnet man die Dichtigkeit eines Körpers mit D, seine Masse mit M, sein Volumen mit V, und mit d, m, v die gleichnamigen Bestimmungen eines andern Körpers, so erhält man

$$D : d = \begin{cases} M : m \\ v : V \end{cases} = Mv : mV \text{ oder,}$$

wenn man die Glieder des letzten Verhältnisses mit v.V dividirt,

$D : d = \frac{M}{V} : \frac{m}{v}$; $\frac{M}{V}$ ist also die Proportionalzahl für D, eben so

$\frac{m}{v}$ für d, desgl. $\frac{m_{\prime}}{v_{\prime}}$ für $d_{\prime}$ u. s. w.; d. h. $D = \frac{M}{V}$.

Deswegen kann man sagen: „Die Dichtigkeit eines Körpers ist seine Masse, reducirt auf eine Volumens-Einheit" oder auch wohl, aber weniger correct, das Verhältniß der Masse zum Volumen.

§ 8. Bei der Prüfung fester Körper in Bezug auf ihre Festigkeit zeigt sich ein verschiedenes Verhalten derselben. Einige von ihnen kehren nämlich, wenn sie durch irgend eine Kraft eine Veränderung im Volumen oder in der Gestalt erfahren haben, nach Aufhören der Kraft von selbst wieder in das frühere Volumen, in die frühere Gestalt zurück (d. h.?).

Solche Körper nennt man elastisch und die Eigenschaft, vermöge deren sie es thun, Elasticität. Die anderen Körper heißen unelastisch. Dieselben können es aus einem doppelten Grunde sein: Entweder lassen sie überhaupt keine Veränderung des Volumens oder der Gestalt zu, sondern geben sofort den Zusammenhang der Theile auf, oder sie bleiben in dem neuen Zustand der Dehnung, Zusammendrückung oder Biegung. Erstere heißen spröde, letztere dehnbar.

Kein Körper ist vollkommen elastisch, sowie andrerseits kein Körper vollkommen unelastisch ist; alle Körper sind also bis zu einem gewissen Grade elastisch, welcher bestimmt wird entweder nach der Größe der Kraft, welche auf einen Körper wirken kann, ohne daß er nach einer der beiden genannten Richtungen hin sich unelastisch zeigt (Elasticitätsgröße), oder nach der Größe der Veränderung, die er erleiden kann, ohne daß er aufhört elastisch zu sein (Elasticitätsgrenze).

Stahl, Elfenbein, Messing, Guajacholz ꝛc.; Fischbein, Rohr, Federharz, (Kautschuk); Glas, Bologneser Fläschchen, Thon.

Tropfbar-flüssige Körper haben eine sehr geringe, luftförmige nur eine einseitige Elasticität, nämlich die Expansionskraft (§ 5).

§ 9. Der Cohäsion gegenüber steht die Adhäsion, d. h. die gegenseitige Anziehung der Theile zweier Körper bei unmittelbarer Berührung. Sie ist um so größer, in je mehr Punkten die Körper einander berühren; sie heißt deshalb auch Flächen-Anziehung. Sie

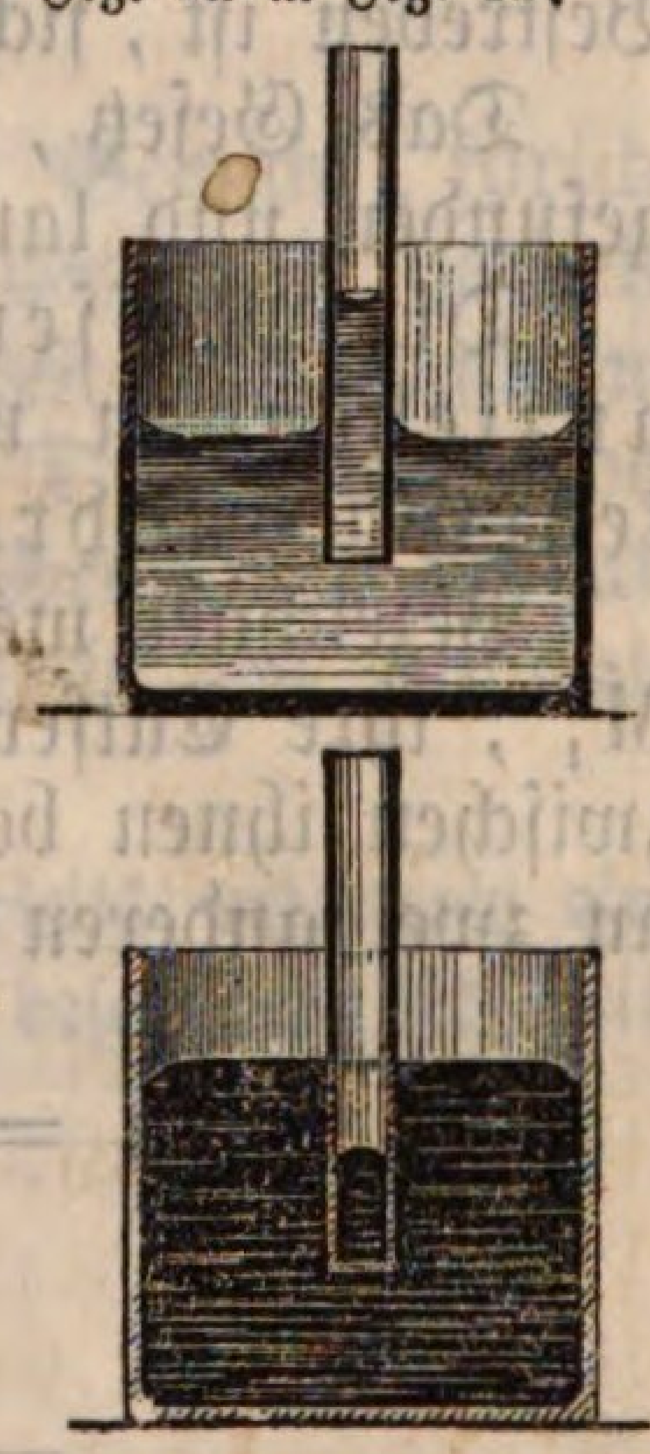
ist größer zwischen gleichartigen als zwischen ungleichartigen Körpern und kann besonders zwischen festen und flüssigen bedeutend sein.

Adhäsionsplatten. Schreiben mit Kreide, Dinte u. s. w. Das kalte Vergolden des Stahls u. s. w.

Die Adhäsion geht zuweilen in die Cohäsion über; wenn nämlich ein flüssiges Bindemittel fest wird, wie beim Löthen, Leimen, Kitten u. s. w. In der Regel aber, namentlich bei festen und flüssigen Körpern, wirkt die Adhäsion der Cohäsion entgegen, die doch auch bei flüssigen Körpern bis zu einem gewissen Grade vorhanden ist. Es wird nämlich, je nachdem die erste oder die zweite überwiegt, der Körper von der Flüssigkeit benetzt werden oder nicht, und es wird eine Flüssigkeit, in kleinen Mengen auf einen festen Körper ausgespritzt, entweder zerfließen oder kugelförmige Tropfen bilden.

Quecksilber auf Blei, Silber, Gold; auf Glas, Holz, Leder, Papier, Porzellan, Eisen. Wasser auf reinem und auf fettigem, staubigem Glase 2c. Oberfläche der Flüssigkeiten in Gefäßen.

Fig. 1a u. Fig. 1b.



§ 10. Ein ganz besonderes Verhalten zeigen flüssige Körper, wenn in sie eine enge, an beiden Enden offene Röhre (Capillarröhre, tubulus capillaris) eingesenkt wird. Dann wird nämlich die Flüssigkeit, im Widerspruch mit einem hydrostatischen Gesetze (§ 50), sich in der Röhre entweder höher stellen als außerhalb, und zwar mit concaver Oberfläche (Fig. 1a); wenn nämlich die Flüssigkeit an der Röhre adhärirt, dieselbe benetzt; oder tiefer, und zwar mit convexer Oberfläche, wenn die Flüssigkeit die Röhre nicht benetzt (Fig. 1b). Im ersten Fall sagt man, es wirke die Capillar-Attraction (Haarröhrchen-Anziehung), im zweiten die Capillar-Depression (Haarröhrchen-Abstoßung). Beide Erscheinungen bezeichnet man als Capillar-Phänomene, Erscheinungen der Capillarität.

Das Aufsteigen des Oels in den Dochten und dochtlosen Nachtlämpchen, das Aufsteigen der Flüssigkeiten in Zucker-, Salz, Sand 2c. Das Grundwasser in der Nähe von Teichen u. s. w.

§ 11. Eine dritte Art der Anziehung ist die zwischen irgend zwei Körpern in beliebiger Entfernung wirkende Massenanziehung oder Newton'sche Attraction, oder allgemeine Schwere. Sie heißt Gravitation, wenn sie von den Himmelskörpern auf einander ausgeübt wird und die Ursache ihrer Bewegungen und der Störung dieser Bewegungen ist, Erdschwere oder „Schwere" schlechtweg, wenn sie zwischen der Erde und den Körpern auf ihr wirkt.

Die Schwere ist also eine gemeinschaftliche Eigenschaft der Erde und der Körper auf ihr, aber vorzugsweise Eigenschaft der Erde wegen ihrer überwiegend größeren Masse. Als solche bewirkt sie, daß die Körper, auf welche die Anziehung ausgeübt wird, sich nach der Erde zu bewegen. Die Bewegung eines Körpers, welcher der Erdschwere ungehindert folgt, heißt der freie Fall, die Linie, in welcher dieß geschieht, die Falllinie. Da nun alle Körper in der Nähe der Erde der Anziehung derselben unterliegen, kann man die Schwere auch lediglich als Eigenschaft jener Körper ansehen und als „das Streben derselben, sich nach der Erde hin zu bewegen", bezeichnen.

Die Richtung der Falllinie, und demnach der Schwere, erhält man am einfachsten mittelst eines Bleilothes, d. h. mittelst eines an einem Faden aufgehängten Stückes Blei (oder Messing). Sie heißt die verticale Richtung und eine auf ihr senkrechte die horizontale oder wagerechte.

Alle Falllinien convergiren, wenn nicht locale Ursachen etwas störend einwirken (Hutton's und Maskelyne's Beobachtungen 1774 am Berge Sheallien in Pertshire in Schottland) nach dem Mittelpunkte der Erdmasse. Daher muß man sagen, daß die Schwere der Körper ihr Bestreben ist, sich nach dem Mittelpunkt der Erde zu bewegen.

Das Gesetz, nach welchem die Schwere wirkt, wurde von Newton gefunden und lautet:

Die Massenanziehung steht im geraden Verhältniß der anziehenden und der angezogenen Masse und im umgekehrten quadratischen Verhältniß der Entfernungen.

Bezeichnet man die anziehende Masse mit M, die angezogene mit M_1, ihre Entfernung von jeinander mit D, die Anziehung, welche zwischen ihnen besteht, mit A, und die entsprechenden Bestimmungen an zwei anderen Massen mit m, m_1, d und a: so ist

$$A : a = \begin{cases} M : m \\ M_1 : m_1 \\ d^2 : D^2 \end{cases} = M . M_1 . d^2 : m . m_1 . D^2, \text{ d. i.}$$

$$= \frac{M . M_1}{D^2} : \frac{m . m_1}{d^2}.$$

Es ist also $\frac{M . M_1}{D^2}$ die Maßzahl für A, desgleichen $\frac{m . m_1}{d^2}$ für a, und dem entsprechend für andere Anziehungskräfte.

Der erste Theil des Gravitationsgesetzes ist unmittelbar einleuchtend, da eine 2, 3, ... n mal so große Masse (ceteris paribus) eine 2, 3, ... n mal so große Anziehung ausüben muß, und die angezogene Masse ihrerseits auch anziehend ist.

Der zweite Theil wird wie bei dem entsprechenden Gesetz von der Abnahme der Beleuchtung erwiesen. (Vergl. § 94.) Cavendish' Untersuchungen mittelst der Coulomb'schen Drehwage 1798.

§ 12. Wird ein Körper durch eine horizontale Unterlage am Fallen gehindert, so übt er auf dieselbe einen Druck aus, welcher sein Gewicht heißt. Dasselbe ist nach der vorangehenden Erörterung einerseits der Masse des Körpers, andererseits der anziehenden Kraft proportional. In so fern nun die Erdschwere aus zwei Gründen (nämlich?) nicht in allen Punkten der Erdoberfläche völlig gleich groß ist, ist auch Masse und Gewicht nicht völlig identisch. Noch mehr gehen diese beiden Begriffe aus einander, wenn von verschiedenen Himmelskörpern die Rede ist. Ein und derselbe Körper würde nämlich auf der Sonne, deren Anziehungskraft 28mal so groß als die der Erde ist, ein 28mal so großes Gewicht als auf der Erde haben, — während die Masse des Körpers doch dieselbe ist. Das Gewicht eines Körpers bestimmt man als Vielfaches eines beliebig als Einheit angenommenen Gewichtes. In Preußen ist es der Centner, jetzt = 100 Pfund (℔., libra) 1 ℔. = 30 Loth, 1 Loth = 10 Quentchen, 1 Quentchen = 10 Cent, 1 Cent = 10 Korn. Und zwar ist das preußische Pfund so normirt, daß ein rheinländischer Cubikfuß Regenwasser (bei 14° Réaumur) 61,8 ℔. wiegt. In Frankreich ist die Gewichtseinheit das Gramm. Das Kilogramm (1000 Gramm) ist gleich 2 Preuß. ℔. (Apothekergewicht.)

§ 13. Im Gegensatz zu diesem, dem absoluten Gewicht, spricht man von einem specifischen Gewicht der Körper und versteht darunter ihre Dichtigkeit in Bezug auf die als Einheit angenommene Dichtigkeit des reinen Wassers, demnach, da die Dichtigkeiten bei gleichem Volumen sich (nach § 5) wie die Massen (Gewichte) verhalten, das absolute Gewicht der Körper, dividirt durch das absolute Gewicht eines gleichen Volumens Wasser.

Anmerkung. Licht, Wärme, Magnetismus und Electricität erfordern eine viel mehr ins Einzelne gehende Besprechung, bleiben deshalb besonderen Abschnitten (V. bis VII.) vorbehalten.

Zweiter Abschnitt.

Von der Bewegung.

(Phorometrie.)

§ 14. Die äußerlichste Veränderung an den Körpern ist die Ortsveränderung oder Bewegung. Beharren im Ort heißt Ruhe. Absoluter Ort, relativer Ort = Lage.

Da nichts in der Welt (Fixsterne vielleicht ausgenommen) sich in absoluter Ruhe befindet, so sind Bewegung und Ruhe relative Begriffe.

Scheinbare Bewegung. Scheinbare Ruhe.

Als bewegende Kräfte kommen vorzugsweise in Anwendung:

Die Erdschwere (bei den ober- und unterschlächtigen Wassermühlen und bei den Gewichtsuhren), die Elasticität des Stahls (bei den Federuhren), die Wärme (bei den Windmühlen), die Expansivkraft der Dämpfe (in den Dampfmaschinen), der Electromagnetismus und die Muskelkraft der Menschen und Thiere.

Da die Materie (nach § 3) träge ist, muß bei einer Kraft, welche durch einen Stoß von außen auf einige Theile eines Körpers wirkt, sowohl Bewegung als Ruhe den anderen Theilen mitgetheilt werden.

Hierdurch erklären sich manche Erscheinungen, wenn die Theile des bewegten Körpers nicht fest mit einander verbunden sind, und gewisse Verschiedenheiten, je nach der Schnelligkeit der Bewegung, in welche die zunächst getroffenen Theile versetzt werden.

§ 15. Man unterscheidet die Bewegung

1) nach der Richtung in geradlinige und krummlinige;
2) nach der Geschwindigkeit (unter welcher man das Verhältniß des Weges zur Zeit versteht) in gleichförmige und ungleichförmige, und die letztere wieder in beschleunigte (accelerirte) und verzögerte (retardirte), endlich jede von beiden in gleichmäßig und ungleichmäßig veränderte Bewegung;
3) nach der Zahl der Kräfte, welche die Bewegung hervorrufen, in einfache und zusammengesetzte, die Kräfte selbst aber in momentan wirkende und unausgesetzt wirkende, und die letzteren wieder in constante und variabele.

Endlich hat man auch

4) die Größe der Bewegung Q (quantitas motus), d. i. die Wirkung eines bewegten Körpers auf einen anderen, den er trifft, und
5) die Hindernisse der Bewegung in Betracht zu ziehen.

Von den letzteren soll vorläufig vollständig abstrahirt werden.

§ 16. Da die gleichförmige Bewegung diejenige ist, deren Geschwindigkeit unausgesetzt dieselbe bleibt, so müssen bei ihr in gleichen Zeiten gleiche Wege und in ungleichen Zeiten proportionirte Wege zurückgelegt werden.

Bezeichnet man die Geschwindigkeit einer Bewegung mit C (celeritas), den Weg mit S (spatium), die Zeit mit T (tempus), und die entsprechenden Bestimmungen bei einer andern Bewegung mit c, s, t: so ergiebt sich aus einem leichten Regel-de-tri-Ansatze

$$C : c = \left\{ \begin{matrix} S : s \\ t : T \end{matrix} \right., \text{ d. i. } S.t : s.T = \frac{S}{T} : \frac{s}{t}.$$

Es ist also $\frac{S}{T}$ die Maßzahl für C oder $C = \frac{S}{T}$.

Demnach kann man sagen, die Geschwindigkeit sei der „Weg in der Zeiteinheit“ oder auch, weniger correct, „das Verhältniß des Weges zur Zeit“ (wie in § 15, 2).

Als Zeiteinheit nimmt man in der Regel die Secunde an; demnach ist die Geschwindigkeit bei einer gleichförmigen Bewegung der Weg in einer Secunde.

Angabe der Geschwindigkeiten einiger Bewegungen, in so fern sie als gleichförmig angesehen werden.

§ 17. Was die Kraft betrifft, von welcher eine gleichförmige, gradlinige Bewegung herrührt, so muß sie eine momentane sein. (Dieß folgt aus dem Beharrungsvermögen der Materie.) Da sie ferner (ceteris paribus) der Geschwindigkeit, welche sie hervorbringt, proportionirt sein muß, wird sie durch diese Geschwindigkeit gemessen.

Bestimmt man das Verhältniß der Geschwindigkeiten (C und c) nach den bewegenden Kräften (P und p) und nach den zu bewegenden Massen (M und m), so ergiebt sich, ebenfalls sehr leicht,

$$C : c = \left\{ \begin{matrix} P : p \\ m : M \end{matrix} \right., \text{ d. i. } = P.m : p.M = \frac{P}{M} : \frac{p}{m}.$$

Es ist also $\frac{P}{M}$ die Maßzahl für C, desgleichen $\frac{p}{m}$ das Maß für c u. s. w.; d. h. es ist $C = \frac{P}{M}$.

Eben so leicht ergiebt sich

$$P : p = \left\{ \begin{matrix} M : m \\ C : c \end{matrix} \right. = M.C : m.c.$$

Es ist also P = M C; d. h. das Maß für die Kraft erhält man, wenn man die durch sie bewegte Masse mit der Geschwindigkeit, in welche sie versetzt wird, multiplicirt.

Als Maß-Einheit nimmt man in Frankreich diejenige Kraft, welche 1 Kilogramm in 1 Secunde 1 Meter hoch hebt oder 1 Meter weit

bewegt, und man nennt diese Kraft 1 Kilogrammeter; in Deutschland gilt als Maß diejenige Kraft, welche 1 ℔. in 1 Secunde 1′ hoch hebt; man kann dieselbe wohl ein Fußpfund nennen.

Die Erfahrung lehrt, daß man das Moment der Pferdekraft zu 75 Kilogrammetern oder zu 450—480 Fußpfund, demnach die Menschenkraft etwa zu 60 Fußpfund zu rechnen hat. Dynamometer.

Offenbar sind die Wirkungen der Kräfte diesen selbst proportionirt. Es ist also auch die Größe der Bewegung $Q = M.C$.

Daß $P = M.C$ unmittelbar aus $C = \frac{P}{M}$ folgt, bedarf kaum der Erwähnung.

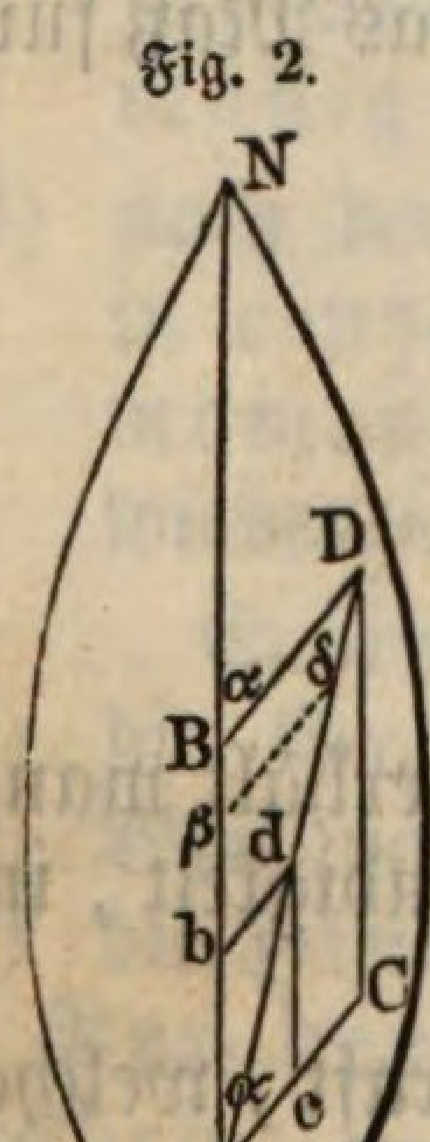
§ 18. Wirken zwei Kräfte in derselben geraden Linie auf einen Körper (materiellen Punkt), so vereinigen sie sich in eine einzige Kraft (die Resultante), welche gleich der algebraischen Summe beider Kräfte ist.

Denn: Wirken sie in derselben Richtung, so ist ihre Resultante offenbar ihre arithmetische Summe. Wirken sie in entgegengesetzter Richtung und sind sie einander gleich, also P und — P, so müssen sie offenbar einander aufheben. (Ihre Summe $P - P$ ist $= o$.) Sind endlich die beiden Kräfte P und — P, ungleich, so hebt sich die kleinere gegen einen ihr gleichen Theil der andern auf, und es bleibt die Differenz der beiden Kräfte, wirkend nach der Richtung der größeren Kraft. In Zeichen?

§ 19. Wirken zwei Kräfte in verschiedener Richtung auf einen Körper, so vereinigen sie sich in eine einzige Kraft, deren Richtung und Stärke durch die Diagonale des Parallelogramms angegeben wird, welches man aus dem Winkel der Richtungen und zwei das Verhältniß der Kräfte darstellenden Linien construiren kann.

Diese Resultirende nennt man demnach auch die Diagonalkraft (Mittelkraft), die beiden andern die Seitenkräfte und den Lehrsatz den Satz vom Parallelogramm der Kräfte.

Fig. 2.



Von der Richtigkeit dieses Satzes (dessen strengen Beweis die höhere Mathematik liefert) kann man sich überzeugen, wenn man zunächst statt der Kräfte die von ihnen erzeugten Geschwindigkeiten betrachtet. Denkt man sich nämlich (Fig. 2) ein Schiff in der Richtung AN mit der Geschwindigkeit AB auf ruhendem Wasser bewegt und gleichzeitig einen Menschen von A nach C mit der Geschwindigkeit AC sich bewegend, so wird derselbe offenbar nach Verlauf einer Zeiteinheit (1″) nach dem auf dem Wasser zu denkenden Punkt D gelangen, welchen man erhält, wenn man entweder $CD \# AB$ oder $BD \# AC$ macht. Denn

es ist offenbar dasselbe, ob er sich gleichzeitig mit dem Schiffe bewegte, oder vor Anfang der Schiffsbewegung von A nach C gegangen und dann mit dem Schiff (wie von A nach B, so) von C nach D gerückt wäre.

Dasselbe ergiebt sich, wenn man erst das Schiff von A nach B bewegt und dann ruhend, den Menschen aber von dem Punkt B auf dem Wasser (dem früheren Punkt A) unter einem Winkel $= \alpha$ mit einer Geschwindigkeit = AC sich bewegend annimmt.

Eben so wird man in einer halben Zeit-Einheit ($\frac{1}{2}''$), wenn $Ab = \frac{1}{2} AB$ und $Ac = \frac{1}{2} AC$ ist, nach d, und dem entsprechend nach $\frac{m''}{n}$ nach δ gelangen. Aus der Aehnlichkeit der Parallelogramme AD, Ad, Aδ und der Dreiecke ABD, Abd, A$\beta\delta$ ergiebt sich nun, daß AdδD eine gerade Linie ist, also die Bewegung von A nach D in der Diagonale erfolgte.

Was von den Bewegungen gilt, gilt offenbar auch von den sie erzeugenden Kräften.

§ 20. So wie man zwei Bewegungen oder zwei Kräfte in eine vereinigen (zusammensetzen, componiren) kann, so kann man auch mehrere vereinigen, nämlich wie?

Endlich kann man offenbar auch umgekehrt eine Bewegung oder eine Kraft in zwei oder mehrere zerlegen (decomponiren). Denn wenn man von den 5 Bestimmungen AB, AC, AD, $\angle$BAC und BAD oder CAD in Fig. 2 irgend 3 hat, so kann man die beiden übrigen durch Construction des Parallelogramms AD finden.

Dasselbe ergiebt die trigonometrische Rechnung.

Eine solche Zerlegung ist erforderlich, wenn man die Wirkung einer Kraft in einer Richtung, die von der ihr eigenthümlichen abweicht, ermitteln will.

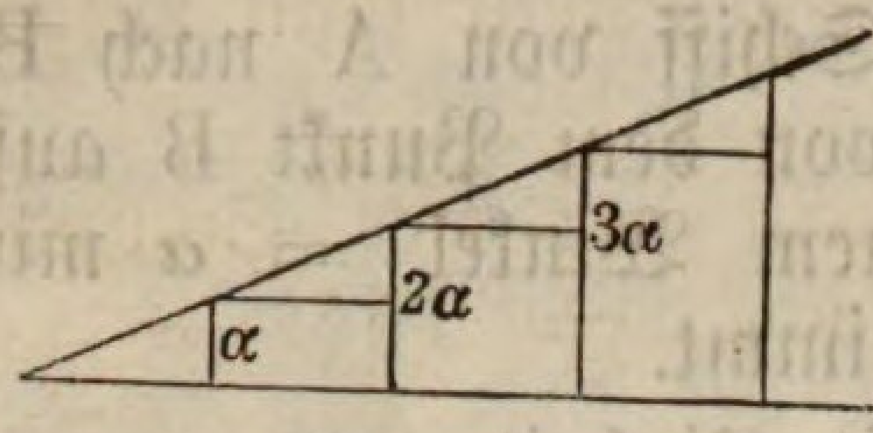
Beispiele: Bewegung eines Schiffes auf einem Flusse durch Stromeskraft und Ruderkraft, Einfluß des Windes auf die Segel, der fliegende Drache, Reitkünste u. s. w.

Soll eine Kraft durch eine andere aufgehoben, d. h. soll ihr durch dieselbe das Gleichgewicht gehalten werden, so kann dieß offenbar nur durch eine ihr gleiche, aber entgegengesetzte geschehen (§ 18).

Soll man demnach einem System von Kräften, die von einem Punkt aus wirken, das Gleichgewicht halten, so muß man eine der Resultante gleiche, aber entgegengesetzte hinzufügen. Dann hat man ein im Gleichgewicht befindliches System von Kräften, von denen offenbar jede allen übrigen zusammen genommen das Gleichgewicht hält. Die Diagonalmaschine.

§ 21. Von einer **constanten Kraft** wird eine **gleichmäßig beschleunigte Bewegung** hervorgebracht.

Fig. 3.



Denn: Denkt man sich die Kraft pausenweise, aber nach Verlauf von verschwindend kleinen gleichen Zeittheilen wirkend, und nimmt man an, die aus jeder solchen Einwirkung sich ergebende Geschwindigkeit, d. h. der Weg in jenem Zeittheilchen sei α (Fig. 3): so muß der bewegte Punkt im zweiten Zeittheilchen 2α zurücklegen, nämlich α wegen des Beharrungsvermögens und α wegen neuer Einwirkung der Kraft. Eben so wird die Geschwindigkeit im dritten Zeittheilchen 3α u. s. w. sein; d. h. sie wird in jedem Zeittheilchen um α, also eben so stetig wachsen, wie die Entfernung einer geraden Linie von einer sie beliebig schneidenden anderen geraden. Eine solche Bewegung heißt aber eine gleichmäßig beschleunigte.

§ 22. Eine constante Kraft — wenigstens innerhalb der Räume, die wir hier betrachten — ist die Erdschwere. Der **freie Fall** ist also eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.

Die Gesetze desselben hat Galilei († 1642) gefunden, nämlich:

1) **Die Geschwindigkeiten verhalten sich wie die Zeiten.**

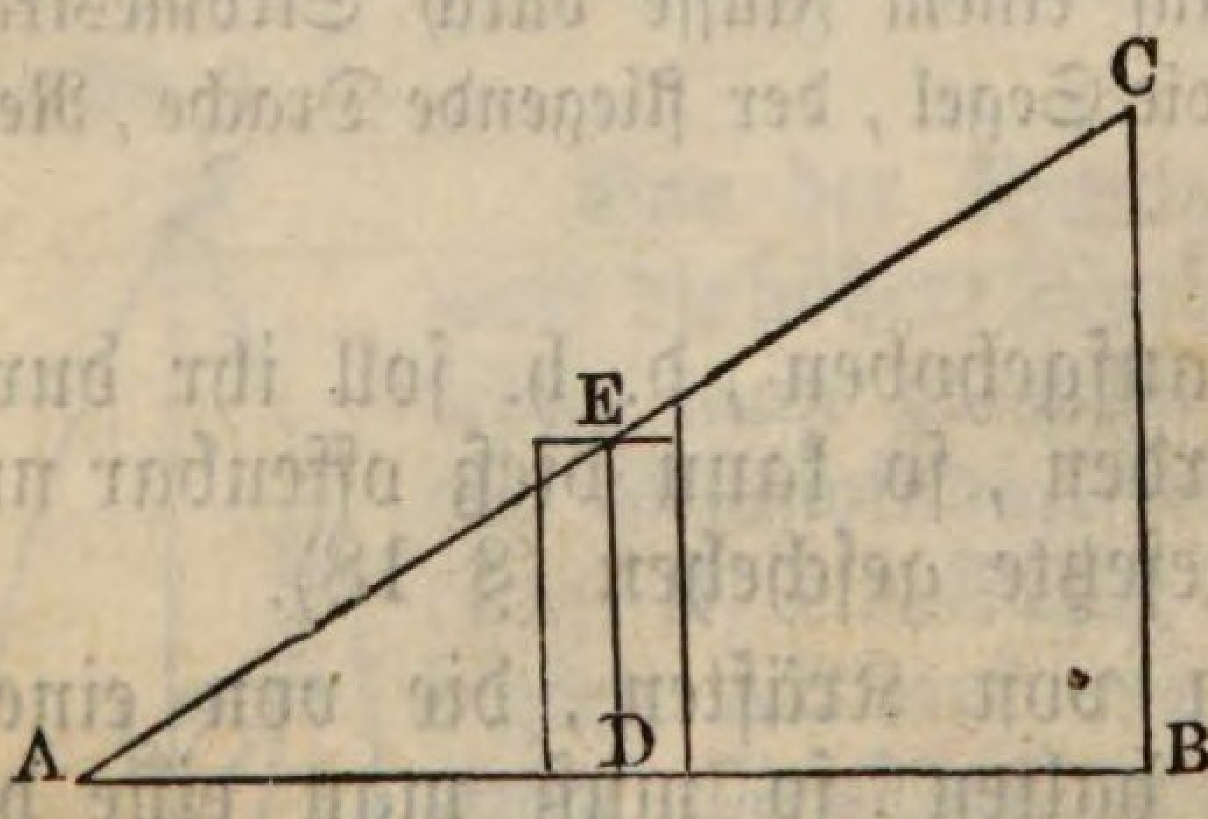
2) **Der Fallraum in irgend einer Zeit ist halb so groß als der Weg, den der Körper in derselben Zeit mit der erlangten Endgeschwindigkeit (in gleichförmiger Bewegung) zurücklegen würde.**

3) **Die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Zeiten.**

Nr. 1 folgt unmittelbar aus § 21.

Die beiden andern Gesetze ergeben sich folgender Maßen:

Fig. 4.



Bezeichnet man die Geschwindigkeit am Ende von t Secunden mit v_t (velocitas), so ist $v_t = t.v_1$ nach Nr. 1 und, wenn die Geschwindigkeit am Ende der ersten Secunde g ist (da sie von der Schwere gravitas herrührt), $v_t = tg$. Ist nun in Fig. 4 D die Mitte von AB und BC $= v_t$, so ist DE $= v_{\frac{1}{2}t} = \frac{1}{2}v_t$. Nun muß sich aber offenbar derselbe Weg ergeben, mag der Körper (materielle Punkt) sich t″ lang mit den wachsenden Geschwindigkeiten, welche jene Senkrechten darstellen, oder durchweg mit der Geschwindigkeit DE bewegt haben. Denn was er durch die geringeren Geschwindigkeiten

vor dem Moment der mittleren (in D) an Weg einbüßt, das bringt er durch die um eben so viel größeren Geschwindigkeiten nach jenem Moment wieder ein. In t'' legt aber ein Körper mit der Geschwindigkeit $\frac{1}{2}v_t$ den Weg $\frac{1}{2}t.v_t$ zurück. Also ist der Fallraum in t'', oder $s_t = \frac{1}{2}t.v_t$. Trägt man den Werth von v_t ein, so erhält man $s_t = \frac{1}{2}t^2.g$, demnach $s_t : s_\tau = t^2 : \tau^2$.

Nach den Beobachtungen ist der Fallraum in der 1sten Secunde $15\frac{5}{8}$ rheinländische Fuß (15,13 Pariser F.), also $s_1 = 15\frac{5}{8}' = \frac{1}{2}g$ und $g = 31\frac{1}{4}'$.

Trägt man für t die Werthe 1, 2, 3 u. s. w. ein, so erhält man durch Subtraction die Fallräume in der 1sten, 2ten, 3ten ...... tten Secunde, nämlich $\frac{g}{2}, \frac{3g}{2}, \frac{5g}{2} \ldots\ldots \frac{(2t-1)g}{2}$.

Es verhalten sich also die Fallräume in den einzelnen auf einander folgenden Secunden — und überhaupt in den einzelnen gleichen Zeiten, von Anfang an gerechnet — wie die ungeraden Zahlen.

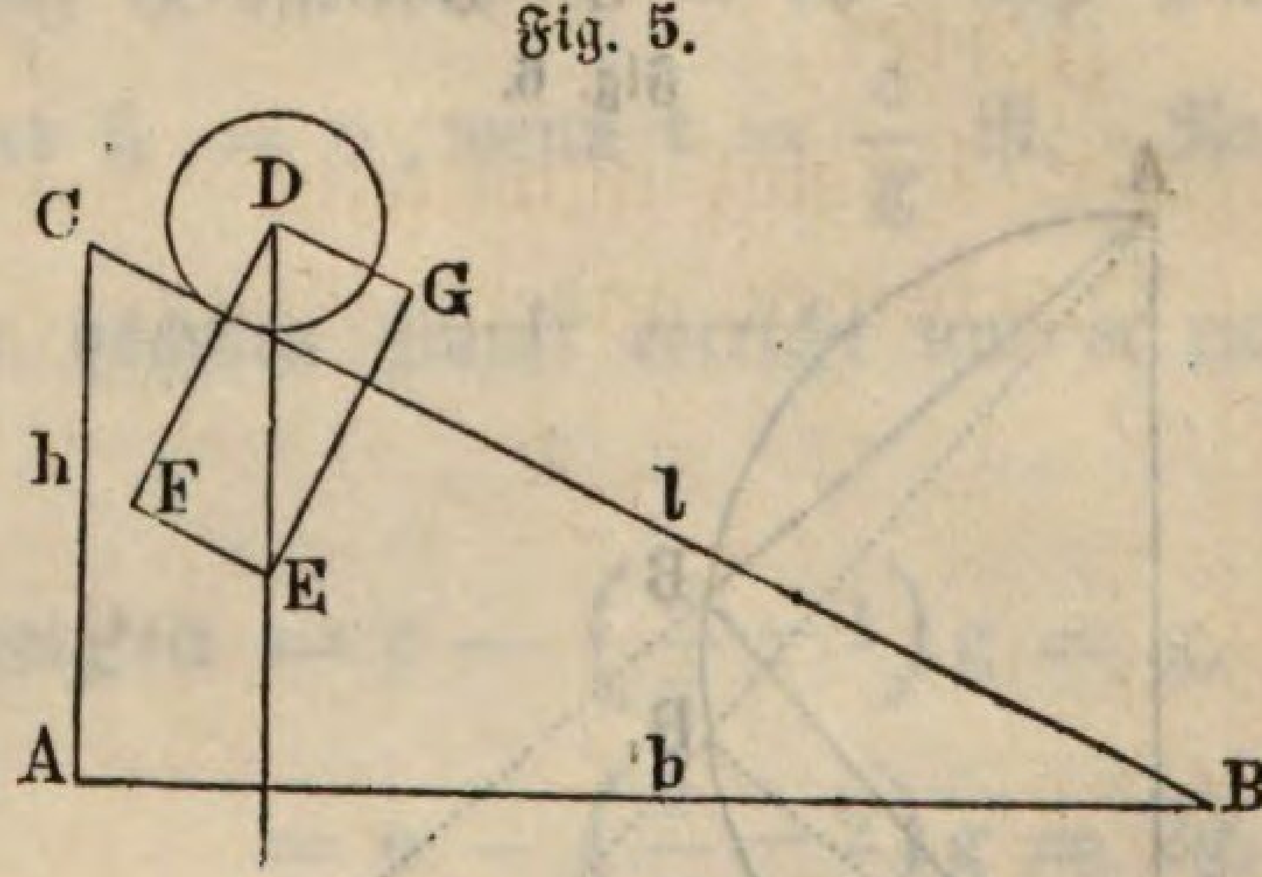
Durch Elimination von t aus den Gleichungen $v = t.g$*) und $s = \frac{1}{2}t^2.g$ erhält man noch $s = \frac{v^2}{2g}$ und $v = \sqrt{2gs}$.

Experimentelle Bestätigung der Fallgesetze durch Galilei, durch Riccioli und Grimaldi, Dechalles u. A. und durch die Atwood'sche Fallmaschine.

§ 23. Auch der Fall eines Körpers auf einer gegen den Horizont geneigten Ebene (planum inclinatum) ist eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung, nur weniger beschleunigt als der freie Fall.

Denn stellt man eine solche („schiefe") Ebene durch ein rechtwinkliges Dreieck ABC (Fig. 5) dar, dessen horizontale Kathete AB die Basis (b), dessen verticale Kathete AC die Höhe (h), dessen Hypotenuse CB die Länge (l) der schiefen Ebene und ∠ B der Elevations- oder Inclinationswinkel (i) heißt, und denkt man sich einen Körper D auf BC ruhend, so wird derselbe durch die Schwere in der Richtung DE || CA angezogen. Bedeutet nun DE die Größe der Schwere, und zerlegt man sie nach § 20 in die auf CB senkrechte Kraft DF (die drückende)

Fig. 5.



*) Früher bezeichnete man den Fallraum in der 1sten Secunde mit g, demnach die Geschwindigkeit am Ende der 1sten Secunde mit 2g. Daher die Abweichung obiger Formeln von denen in älteren Büchern.

und in die CB parallele DG (die respective oder relative), so ist wegen Aehnlichkeit der Dreiecke ABC und DEF $DG = \frac{DE \cdot AC}{BC} = \frac{DE \cdot h}{l}$ (oder $DE \cdot \sin B$).

Es ist also die relative Kraft DG, welche allein als bewegende Kraft wirkt, ein constanter Theil der (absoluten) Erdschwere DE und folglich, wie diese, constant.

Hieraus folgt:

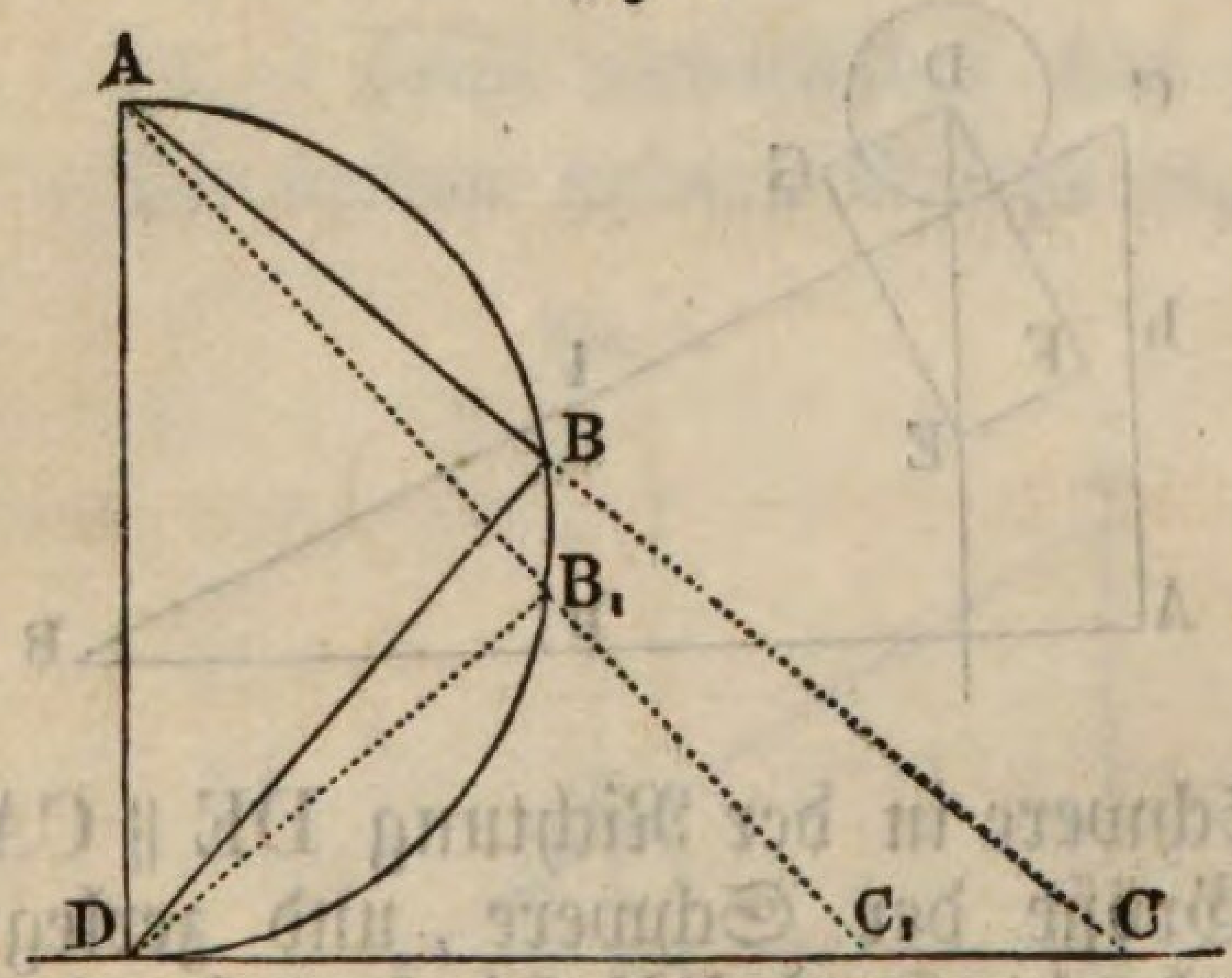
1) Weil die respective Kraft sich zur absoluten wie $h : l$ (wie $\sin i : 1$) verhält, so verhält sich auch der Fallraum auf der schiefen Ebene zum Fallraum im freien Fall (nicht bloß in der 1sten Secunde) wie die Höhe der schiefen Ebene zur Länge.

2) Fällt ein Körper die ganze Länge irgend einer schiefen Ebene (CB) herab, so kommt er im Horizont B mit derselben Geschwindigkeit an, die er im freien Falle, die Höhe CA herab, erreicht haben würde.

Denn: Ist v die Geschwindigkeit, die er im Falle längs CB erreicht, so ist nach § 22 $v = \sqrt{\frac{2gh \cdot CB}{l}}$, d. i. $= \sqrt{2gh}$; eben so groß ist aber auch die andere.

3) Alle Sehnen, welche man von dem einen Endpunkt eines verticalen Kreis-Durchmessers zieht, werden in derselben Zeit als schiefe Ebenen durchlaufen, in welcher der Durchmesser im freien Falle zurückgelegt wird.

Fig. 6.

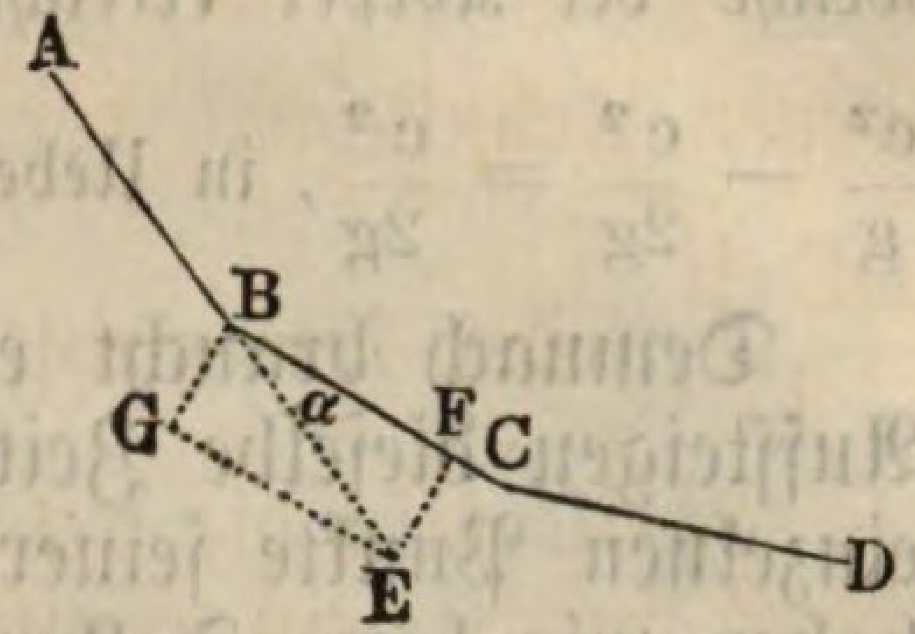


Denn zunächst muß (nach Planim. § 142) in Fig. 6 $AB : AD = AD : AC = h : l$ sein, wie Nr. 1 erfordert. Ist ferner $BD = AB$, folglich $\angle BDC = B_1C_1D$ und demnach BD unter demselben Winkel wie AB, gegen den Horizont geneigt: so muß, da der Satz für AB, erwiesen ist, er auch für BD gelten. Alles dieß hat ebenfalls Galilei schon gefunden.

§ 24. Fällt ein Körper auf einer gebrochenen Linie ABCD . . . (Fig. 7), so erleidet er bei B, C, D . . . einen Verlust an Geschwindigkeit. Denn angenommen, es sei $BE = v$ die Geschwindigkeit, welche er in B erreicht hat, so ist, wenn man sie nach § 20 in BF und BG zerlegt, BF diejenige, welche er wirklich annimmt, d. h. der Weg, den er im nächsten Zeittheilchen zurücklegen würde. Es ist

aber, da BD ⊥ BF angenommen wird, BF = BE . cos α = v . cos α, folglich der Verlust an Geschwindigkeit = v (1 — cos α). Derselbe wird Null, wenn cos α = 1, d. h. wenn α entweder völlig Null oder verschwindend klein ist. Im 1sten Fall hat man nicht eine gebrochene Linie ABC, sondern eine gerade. Auf die 2te Annahme kommt man, wenn der Körper auf einer nach oben concaven krummen Linie fällt, da diese aus unendlich vielen, unendlich kleinen, stetig (d. h. in unendlich kleinen Winkeln) ihre Richtung verändernden geraden Linien bestehend gedacht werden kann.

Fig. 7.



§ 25. Ein senkrecht abwärts geworfener Körper nimmt eine ungleichmäßig beschleunigte Bewegung an.

Denn er wird von 2 Kräften sollicitirt, von der momentan wirkenden Wurfkraft und von der constanten Schwere. Bezeichnet man nun die von der ersten herrührende Geschwindigkeit mit c und die Geschwindigkeit der resultirenden Bewegung mit f_t (finale Geschw. nach t''), ihren Weg mit σ_t, so ist $f_1 = c + g$, $f_2 = c + 2g$, u. s. w. $f_t = c + tg$.

Für eine solche Bewegung gilt also nicht das Gesetz Nr. 1 in § 22. Daß auch Nr. 3 nicht gilt, folgt aus $\sigma_t = t . c + \frac{1}{2}t^2 . g$.

Ein senkrecht aufwärts geworfener Körper erhebt sich in einer in demselben Maße gleichmäßig verzögerten Bewegung, als der freie Fall gleichmäßig beschleunigt ist, und fällt dann von dem erreichten höchsten Punkte wie im freien Fall.

Denn unter dieser neuen Voraussetzung ist offenbar $f_t = c - tg$. Diese Geschwindigkeit nimmt also ab, und es wird $f_t = o$, wenn $t = \frac{c}{g}$ ist. Nach $\frac{c}{g}$ Secunden hat folglich der Körper seinen höchsten Punkt erreicht und er ruht einen Moment.

Nach $\frac{c}{g} - 1$ Sec. ist seine Geschwindigkeit $= c - \left(\frac{c}{g} - 1\right)g = g$,

" $\frac{c}{g} - 2$ " " " " $= c - \left(\frac{c}{g} - 2\right)g = 2g$,

u. s. w.

nach $\frac{c}{g} = \tau$ " " " " $= c - \left(\frac{c}{g} - \tau\right)g = \tau g$.

Diese Geschwindigkeiten entsprechen dem 1sten Gesetz in § 22; die Bewegung ist also, von dem höchsten erreichten Punkte aus betrachtet, eine wie im freien Fall gleichmäßig beschleunigte und geht in diese über, wenn t der Reihe nach gleich $\frac{c}{g} + 1$, $\frac{c}{g} + 2$ u. s. w. angenommen wird. Die höchste Erhebung,

welche der Körper erreicht, ist $\sigma_t = t.c - \frac{1}{2}t^2g$, wenn $t = \frac{c}{g}$ ist, also $= \frac{c^2}{g} - \frac{c^2}{2g} = \frac{c^2}{2g}$, in Uebereinstimmung mit Planim. § 166, 17.

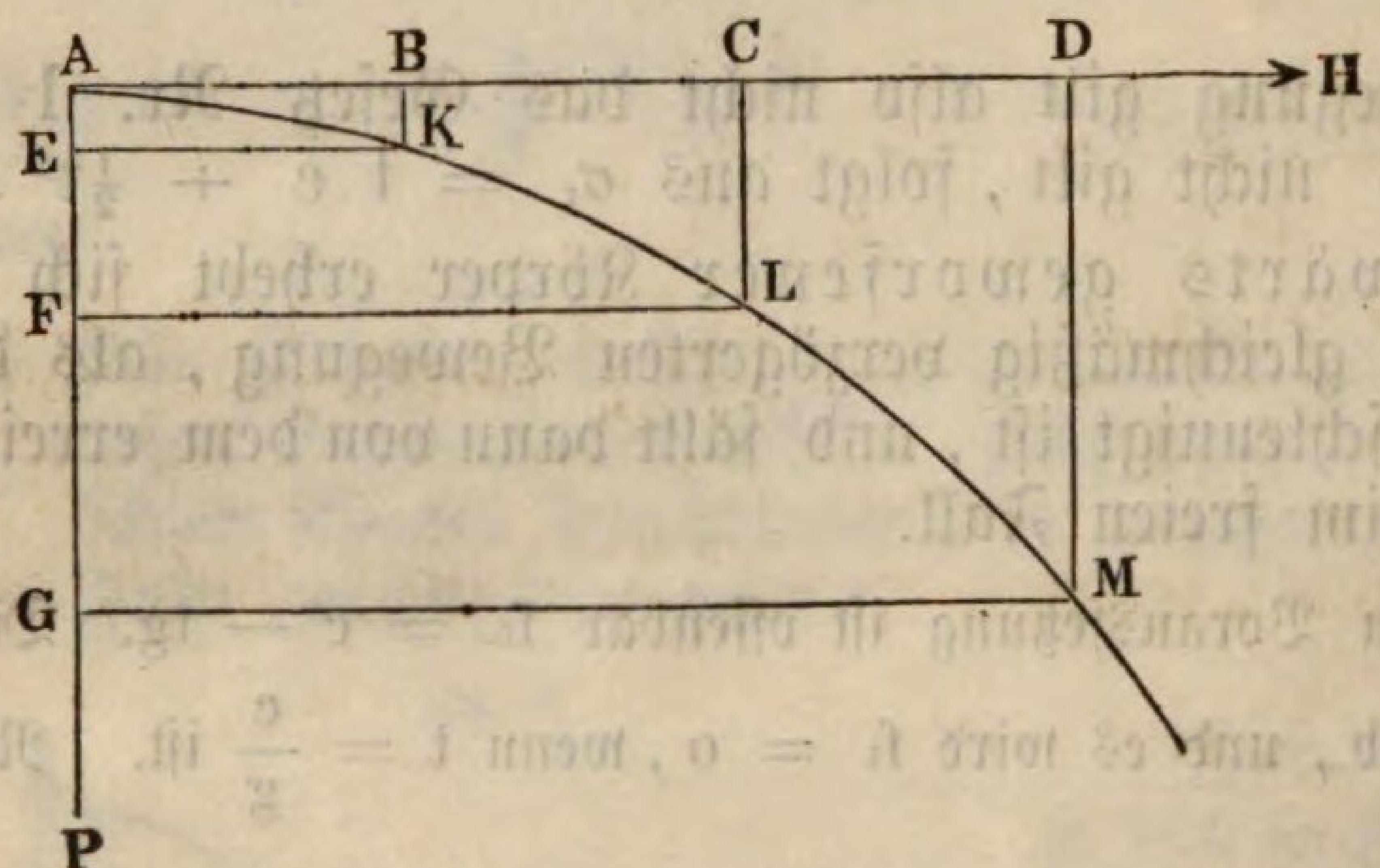
Demnach braucht ein senkrecht aufwärts geworfener Körper zum Aufsteigen dieselbe Zeit wie zum Herabfallen, und er muß in jedem einzelnen Punkte seiner Bahn beim Aufsteigen dieselbe Geschwindigkeit haben wie beim Fallen, also im Ausgangspunkte mit derselben Geschwindigkeit und nach § 17 extr. mit derselben quantitas motus ankommen, mit welcher er seine Bewegung begann.

Mittelst eines Beispiels überzeugt man sich von dem Gesagten leicht, wenn man als Fallraum in der 1sten Secunde 15′, also g = 30′ und c gleich einem ganzzahligen Vielfachen von g, etwa = 90′, 120′, 150′ ꝛc. annimmt und die Wege in den einzelnen Secunden berechnet.

Alle Ergebnisse dieses Paragraphen lassen sich auf die schiefe Ebene übertragen.

§ 26. Wird ein Körper horizontal geworfen, so beschreibt er eine krumme Linie, nämlich eine Parabel, deren Scheitel der Ausgangspunkt der Bewegung ist.

Fig. 8.



Denn dann wirken auf den Körper 2 Kräfte, die momentane Wurfkraft in der Richtung AH (Fig. 8) und die constante Erdschwere in der Richtung AP. Hat nun der Körper durch die erste die Geschwindigkeit AB = BC = CD u. s. w. erhalten, und sind AE, AF, AG die Fallräume in der 1sten, in den beiden, in den 3 ersten Secunden, so muß der Körper (nach § 19) am Ende der 1sten Secunde in K, am Ende der 2ten in L u. s. w. ankommen. Da nun die Bewegung in den Linien AE, EF, FG keine gleichförmige ist, so kann der Körper sich auch nicht in den geraden Linien AK, KL, LM u. s. w. bewegen, sondern nur in einer durch K, L, M gehenden krummen Linie. Daß dieselbe eine Parabel ist, folgt daraus, daß

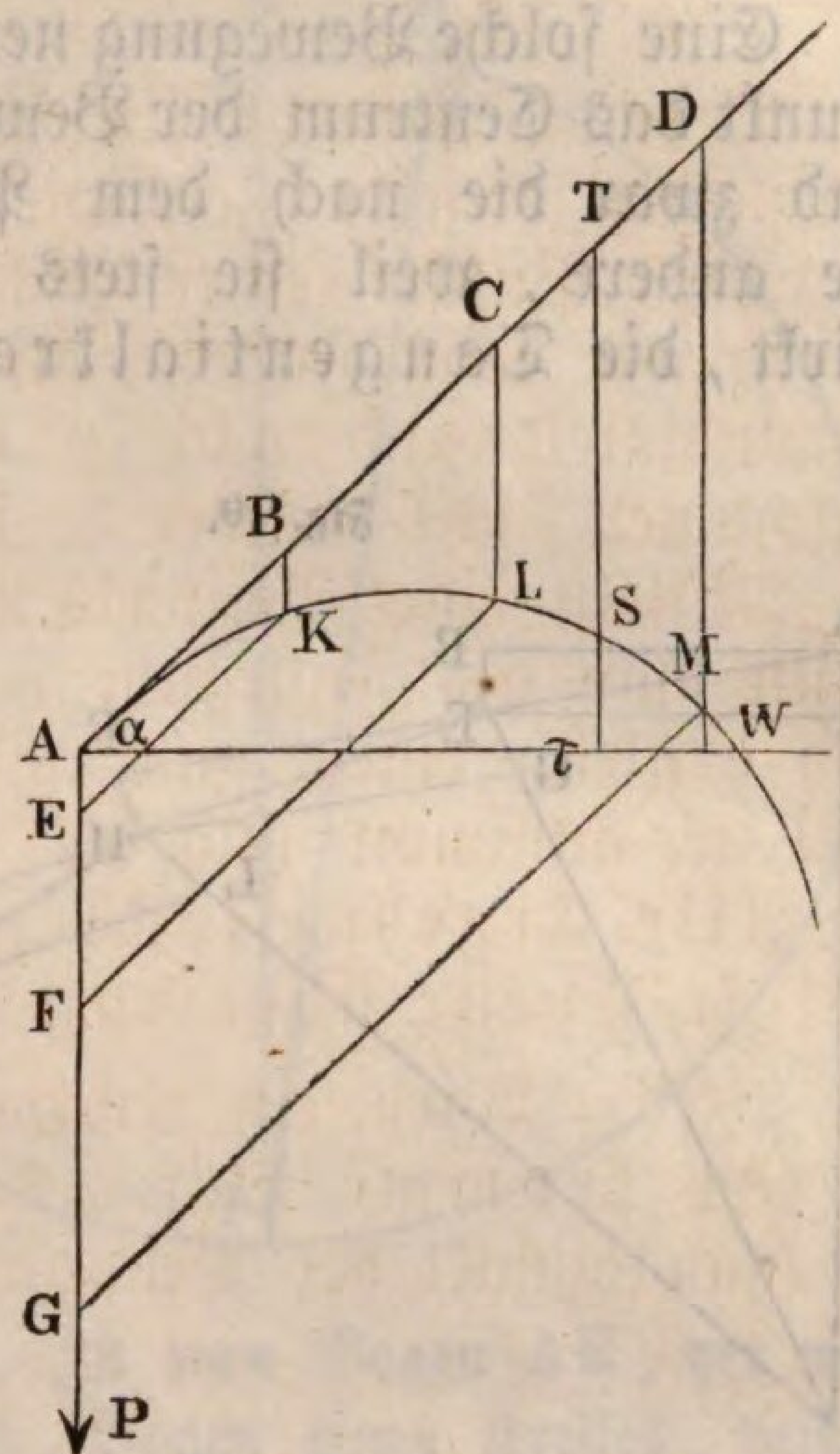
$$AE : AF : AG \text{ etc.} = 1 : 4 : 9 \text{ etc., und auch}$$
$$EK^2 : FL^2 : GM^2 \text{ etc.} = 1 : 4 : 9 \text{ etc.,}$$
$$\overline{AE : AF : AG \text{ etc.} = EK^2 : FL^2 : GM^2 \text{ etc.}}$$

Die Bewegung ist, wie die höhere Mathematik zeigt, eine gleichmäßig beschleunigte.

§ 27. Wird ein Körper schief aufwärts geworfen, so bewegt er sich ebenfalls in einer Parabel, deren Scheitel der höchste erreichte Punkt ist.

Daß die Bahn eine durch A, K, L, M etc. (Fig. 9) gehende krumme Linie ist, wird so wie vorher erwiesen. Das Weitere folgt aus einer bekannten Eigenschaft der Parabel.

Fig. 9.



Die Wurfweite AW und die Wurfhöhe (Erhebung des Scheitels der Parabel über den Horizont) erhält man folgender Maßen:

Ist $\angle$ TAW $= \alpha$, AB $= c$ und AT $= t.c$, so ist $T\tau = t.\sin\alpha.c$, $A\tau = t.\cos\alpha.c$, TS $= \frac{1}{2}t^2.g$, also $S\tau = t.\sin\alpha.c - \frac{1}{2}t^2 g$. Dieß wird $= 0$, wenn $t = 0$ (im Anfange der Bewegung) oder $t = \frac{2.\sin\alpha.c}{g}$ ist. Dann geht $A\tau$ in AW über und wird $=$

$$\frac{2\sin\alpha.\cos\alpha.c^2}{g} = \frac{\sin 2\alpha.c^2}{g};$$

$t.\sin\alpha.c - \frac{1}{2}t^2 g$ oder $\left(\frac{2.\sin\alpha.c}{g} - t\right)\frac{t.g}{2}$ wird, (nach Planim. § 166,17) ein Maximum, wenn $t = \frac{\sin\alpha.c}{g}$ ist, nämlich $=$

$$\frac{\sin^2\alpha.c^2}{g} - \frac{\sin^2\alpha.c^2}{2g} = \frac{\sin^2\alpha.c^2}{2g}.$$

Endlich wird $\frac{\sin 2\alpha.c^2}{g}$ ein Maximum, wenn $2\alpha = 90°$, mithin $\alpha = 45°$ ist. Die größte Wurfweite ist demnach $\frac{c^2}{g}$.

Die Bewegung in dem aufsteigenden Theile der Parabel ist eine ungleichmäßig verzögerte, die andere eine eben so ungleichmäßig beschleunigte.

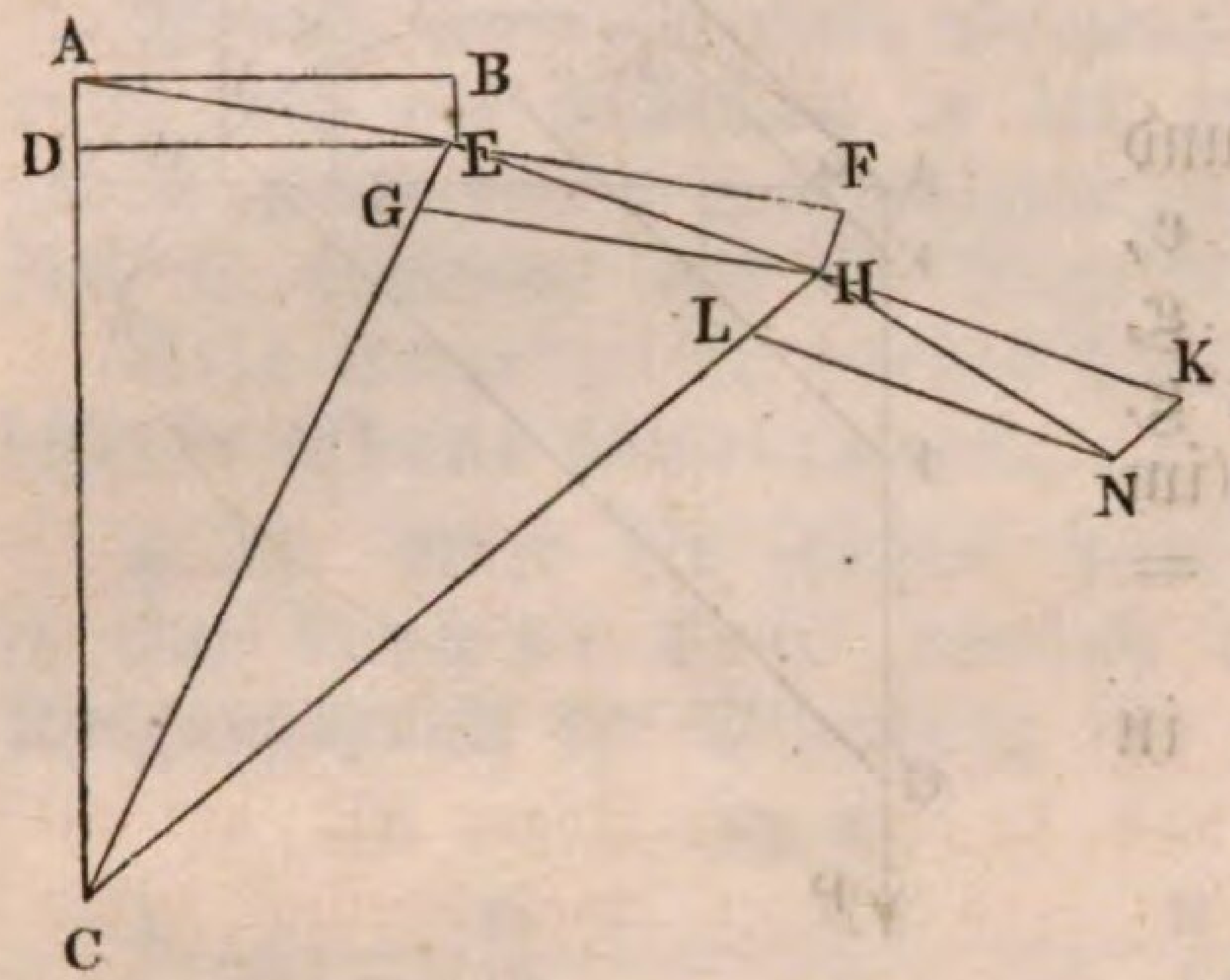
Durch den Widerstand der Luft wird die Parabel, in welcher ein nicht senkrecht geworfener Körper sich bewegt, modificirt. Man nennt die sich ergebende Curve die „ballistische Curve".

§ 28. Wird ein Körper von 2 Kräften bewegt, von denen die eine, unausgesetzt wirkend, ihn nach einem und demselben Punkte treibt, während die andere, momentan wirkend, ihn von diesem ent-

fernt: so muß er sich in einer krummen Linie bewegen, welche jenem Punkte ihre concave Seite zuwendet.

Eine solche Bewegung nennt man eine **Centralbewegung**, jenen Punkt das Centrum der Bewegung, die beiden Kräfte **Centralkräfte**, und zwar die nach dem Punkt gerichtete die **Centripetalkraft**, die andere, weil sie stets in der Tangente der entstehenden Curve wirkt, die **Tangentialkraft**.

Fig. 10.



Denn angenommen, es bedeute AB (Fig. 10) die Tangentialkraft, AD die im Punkt A wirkende Centripetalkraft, und es wirke letztere pausenweise nach Verlauf unendlich kleiner Zeittheilchen: so wird der Körper in dem 1sten in der Diagonale des # AE sich bewegen, im 2ten nach dem Beharrungsvermögen den Weg EF = AE und vermöge neuer Einwirkung der Centripetalkraft EG den Weg EG, also die Diagonale EH durchlaufen u. s. w., wie die Fig. angiebt. Es entsteht also die gebrochene Linie AEHN..., welche bei stetiger Einwirkung der Centripetalkraft zu einer durch A, E, H, N gehenden krummen Linie wird.

Die Gestalt der letzteren hängt von dem Verhältniß der beiden Centralkräfte, ihrem Winkel beim Anfange der Bewegung, von der Lage des Centrums und der Veränderung der Centripetalkraft ab.

Eine besondere Beachtung verdienen die Bewegung im Kreise — wegen ihrer Einfachheit — und die Bewegung in der Ellipse, weil nach Keppler's († 1630) Entdeckung die Planeten sich in Ellipsen bewegen. Die von ihm gefundenen 3 (Keppler'schen) Gesetze sind:

§ 29. 1) Die Planeten beschreiben Ellipsen, in deren einem Brennpunkt sich die Sonne befindet.

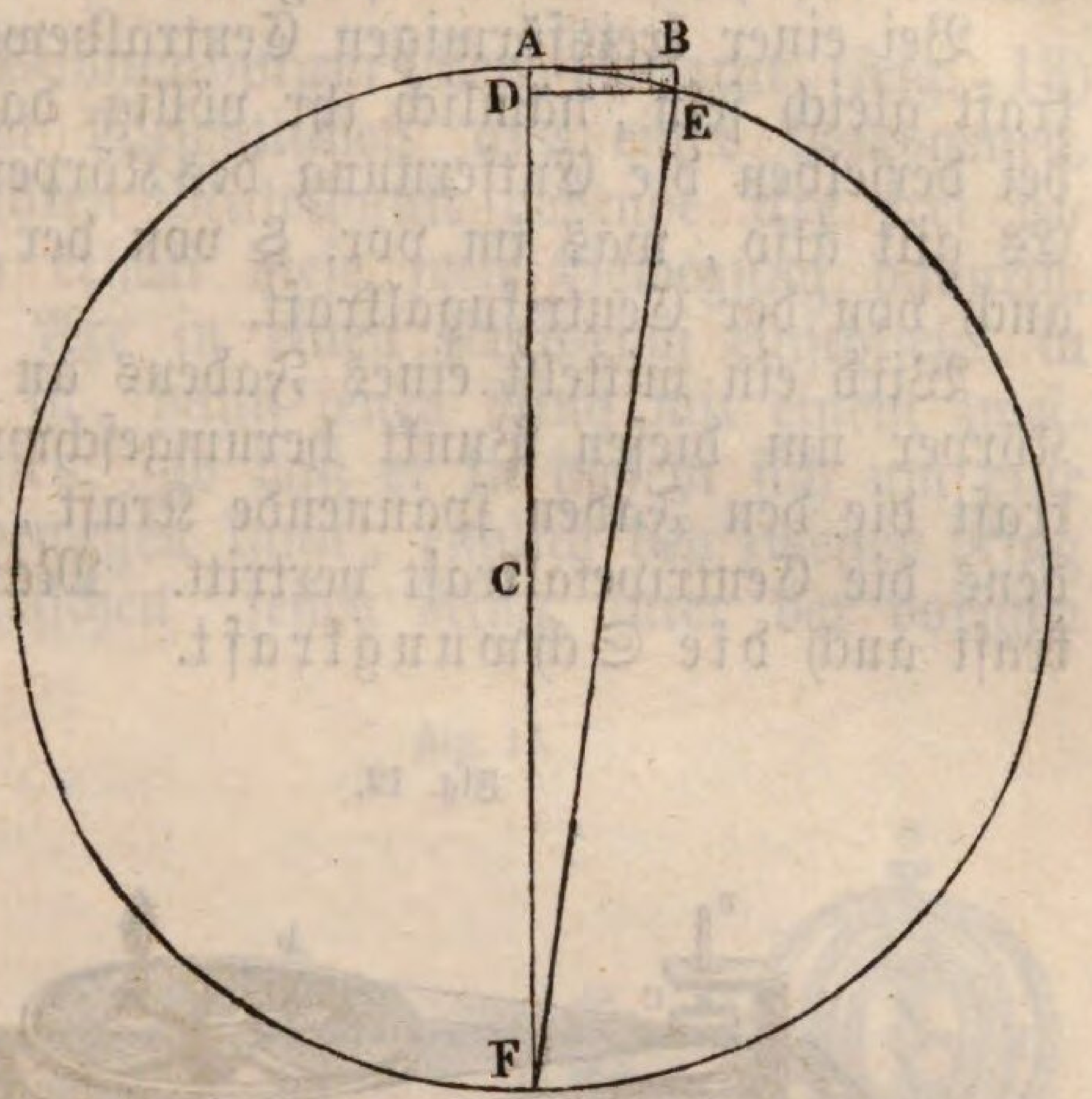
Ellipse. Mechanische Zeichnung derselben. Brennpunkte. Radii vectores. Mittelpunkt. Große und kleine Axe.

2) Die Radii vectores beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume (Sectoren) und in ungleichen Zeiten proportionirte.

3) Die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Cuben ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne oder die Cuben der großen Axen.

Das 1ste Gesetz fand Keppler aus Beobachtungen, welche Tycho de Brahe angestellt hatte.

Fig. 11.



Das 2te ergiebt sich aus Fig. 10, wenn man CF, CK, CN etc. zieht, da $\triangle$ CAE = CEF = CEH und CEH = CHK = CHN ist.

Das 3te (am 15. Mai 1618 gefundene) erhält man unter der Voraussetzung, daß die Bewegung im Kreise geschieht, folgender Maßen:

Bedeutet AB (Fig. 11) den Weg, den ein Körper vermöge einer momentan wirkenden Kraft in einem äußerst kleinen Zeittheilchen zurücklegt, und die auf AB senkrechte AD den Weg, den der Körper vermöge einer von C aus wirkenden Kraft in derselben Zeit geht, so kommt er nach § 19 in dieser Zeit nach E. Ist nun Bogen AE, der mit Sehne AE zusammenfallend gedacht werden kann, Bogen eines Kreises, dessen Radius AC = r ist, so ist bekanntlich (Planim. § 142) AD $= \frac{\overline{AE}^2}{AF}$ oder, wenn die Umlaufszeit t ist, $= \frac{2\pi^2 r}{t^2}$. Da nun AD die Centripetalkraft (p) bedeutet, so ist ersichtlich, daß dieselbe im geraden Verhältniß zum Radius des durchlaufenen Kreises und im umgekehrten Verhältniß zum Quadrat der Umlaufszeit steht.

Bedeuten $p_{,}$, $r_{,}$, $t_{,}$, dieselben Bestimmungen bei einer zweiten kreisförmigen Centralbewegung, so ist $p : p_{,} = \frac{r}{t^2} : \frac{r_{,}}{t_{,}^2}$.

Es verhält sich aber nach § 11 $p : p_{,} = r_{,}^2 : r^2$, also $\frac{r}{t^2} : \frac{r_{,}}{t_{,}^2} = r_{,}^2 : r^2$.

Demnach ist $\frac{r_{,}^3}{t_{,}^2} = \frac{r^3}{t^2}$ oder $\frac{t_{,}^2}{t^2} = \frac{r_{,}^3}{r^3}$, mithin $t^2 : t_{,}^2 = r^3 : r_{,}^3$.

Daß dieß auch für Bewegung in Ellipsen gilt, welche den Kreis als einen speciellen Fall umfassen, ergiebt die höhere Mathematik.

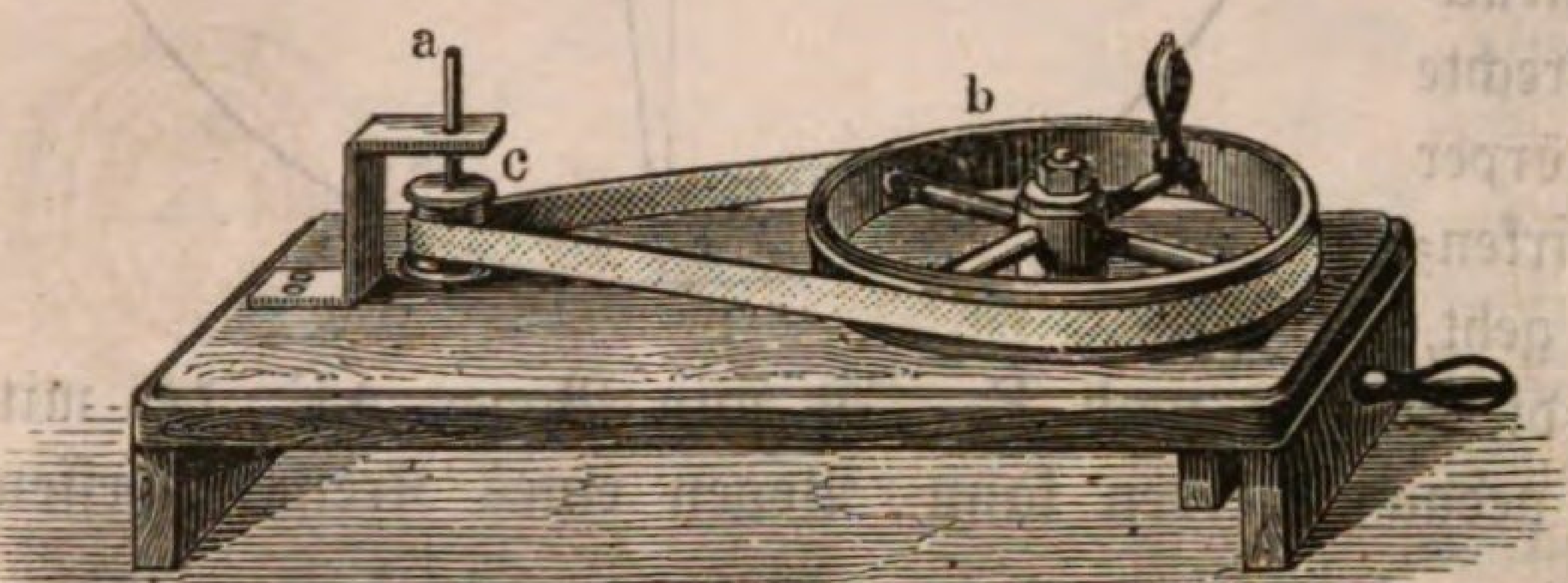
§ 30. Bei jeder Centralbewegung erhält der bewegte Körper vermöge seiner Trägheit das Bestreben, sich in der Tangente der Curve fortzubewegen, und er wird, sobald die Centripetalkraft zu wirken aufhört, dieses Bestreben realisiren und sich vom Mittelpunkt der Bewegung entfernen. Das Maß für dieses Bestreben ist nicht die Tangentialkraft selbst, in welcher ja auch die längs der Curve hin treibende Kraft sich geltend macht, sondern eine in der Verlängerung des

Radius AC (Fig. 11), also direct der Centripetalkraft entgegen wirkende Kraft, die **Centrifugalkraft** oder Fliehkraft.

Bei einer kreisförmigen Centralbewegung muß sie der Centripetalkraft gleich sein, nämlich ihr völlig das Gleichgewicht halten, da ja bei derselben die Entfernung des Körpers vom Centrum dieselbe bleibt. Es gilt also, was im vor. § von der Centripetalkraft gesagt wurde, auch von der Centrifugalkraft.

Wird ein mittelst eines Fadens an einem festen Punkte befestigter Körper um diesen Punkt herumgeschwungen, so ist die Centrifugalkraft die den Faden spannende Kraft, während die Festigkeit des Fadens die Centripetalkraft vertritt. Man nennt deshalb die Centrifugalkraft auch die **Schwungkraft**.

Fig. 12.



Mittelst der Nairne-schen Centrifugal-Maschine (Fig. 12) kann man sich durch äußerst mannigfaltige Versuche von der Richtigkeit des Gesagten, so wie davon überzeugen, daß die Centrifugalkraft der Masse des bewegten Körpers proportionirt sein muß.

Welche anderen Erscheinungen beruhen auf der Wirksamkeit der Schwungkraft?

§ 31. Eine Folge der Centrifugalkraft ist, daß bei der Drehung eines Körpers um eine Axe alle außerhalb derselben befindlichen Theile des Körpers sich in einer auf dieser Axe senkrechten Ebene zu erhalten suchen, also auf jene Axe eine gewisse Wirkung ausüben. Sind die Theile des Körpers fest mit einander verbunden und um jene Axe symmetrisch geordnet, so werden ihre Wirkungen auf die Axe einander aufheben; die Axe wird ihre ursprüngliche Lage nicht ändern, selbst nicht, wenn eine bedeutende Kraft auf sie wirkt, während sie im ruhenden Zustande schon durch eine geringe Kraft verrückt wird. Eine solche Axe (z. B. die Erdaxe) heißt eine **freie Axe**.

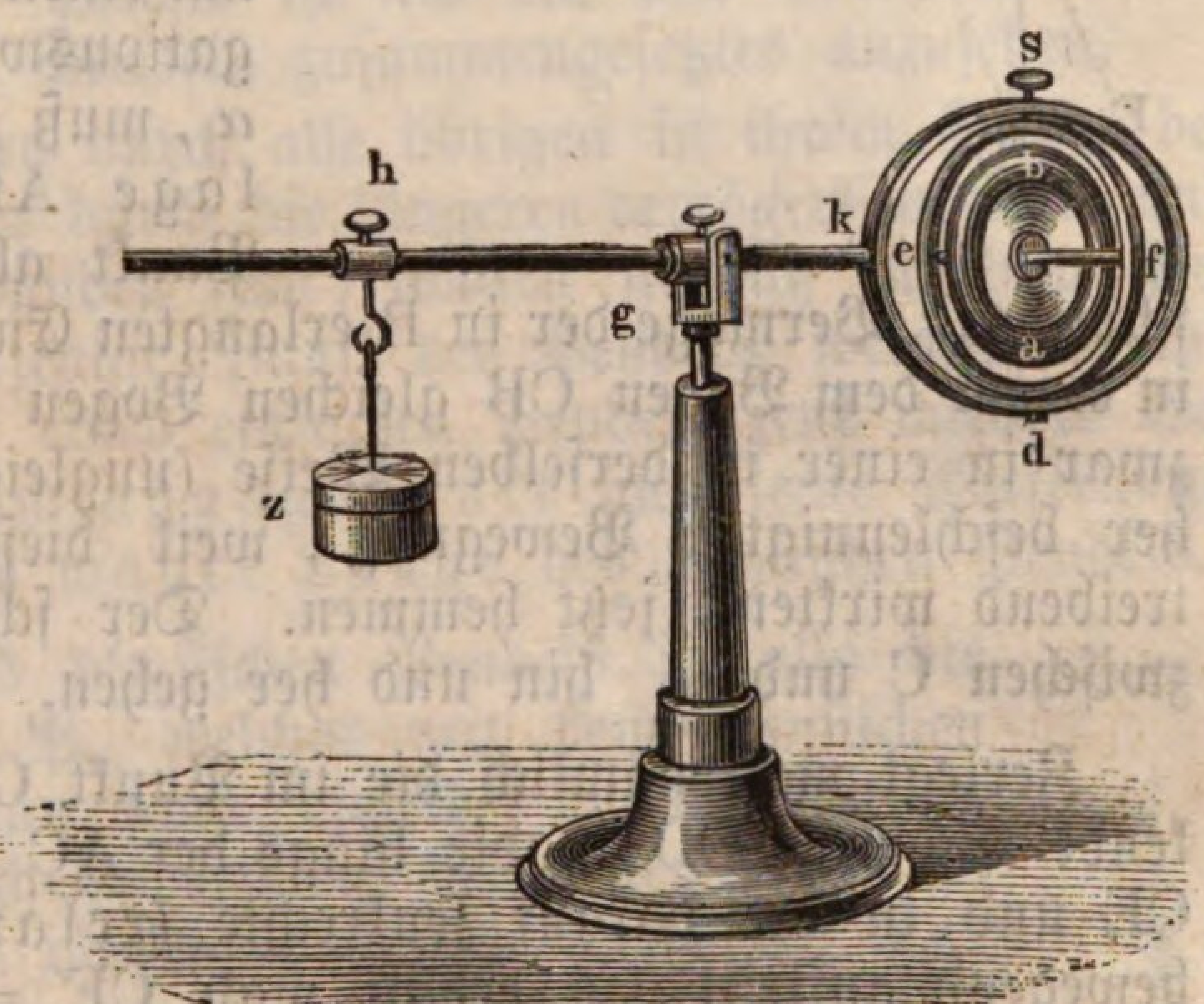
Fig. 13.



Liegen die Theile des Körpers nicht symmetrisch zur Axe, so wirken sie auf dieselbe drehend.

Dieß läßt sich durch den Bohnenberger'schen Apparat (Fig. 13) leicht nachweisen, welcher im Wesentlichen aus einer homogenen, massiven und um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Axe frei beweglichen Kugel besteht. Man erhält diese freie Bewegung dadurch, daß man die Kugel mit ihrer Axe in einen Kreisring einschließt, in welchem jene Axe Durchmesser ist, dann jenen Ring mit einem zweiten, concentrischen Ringe umgiebt, so daß er in diesem sich um eine auf der ersten senkrechte Axe bewegen kann, endlich den zweiten Ring nochmals in einen ihm concentrischen, festen Ring unter der vorigen Bedingung einfügt.

Fig. 14.



Noch besser ist der Fessel'sche Apparat (Fig 14), in welchem die bewegliche Kugel durch eine homogene Scheibe mit schwerem Rande ersetzt ist. Der äußerste Ring ist hier dadurch beseitigt, daß der 2te Ring vertical an einem horizontalen Wagebalken befestigt und, durch ein Gewicht Z im Gleichgewicht erhalten, um den Punkt g mit dem Wagebalken (dieser in horizontaler Ebene) beweglich ist.

Rotirende Kreisel.

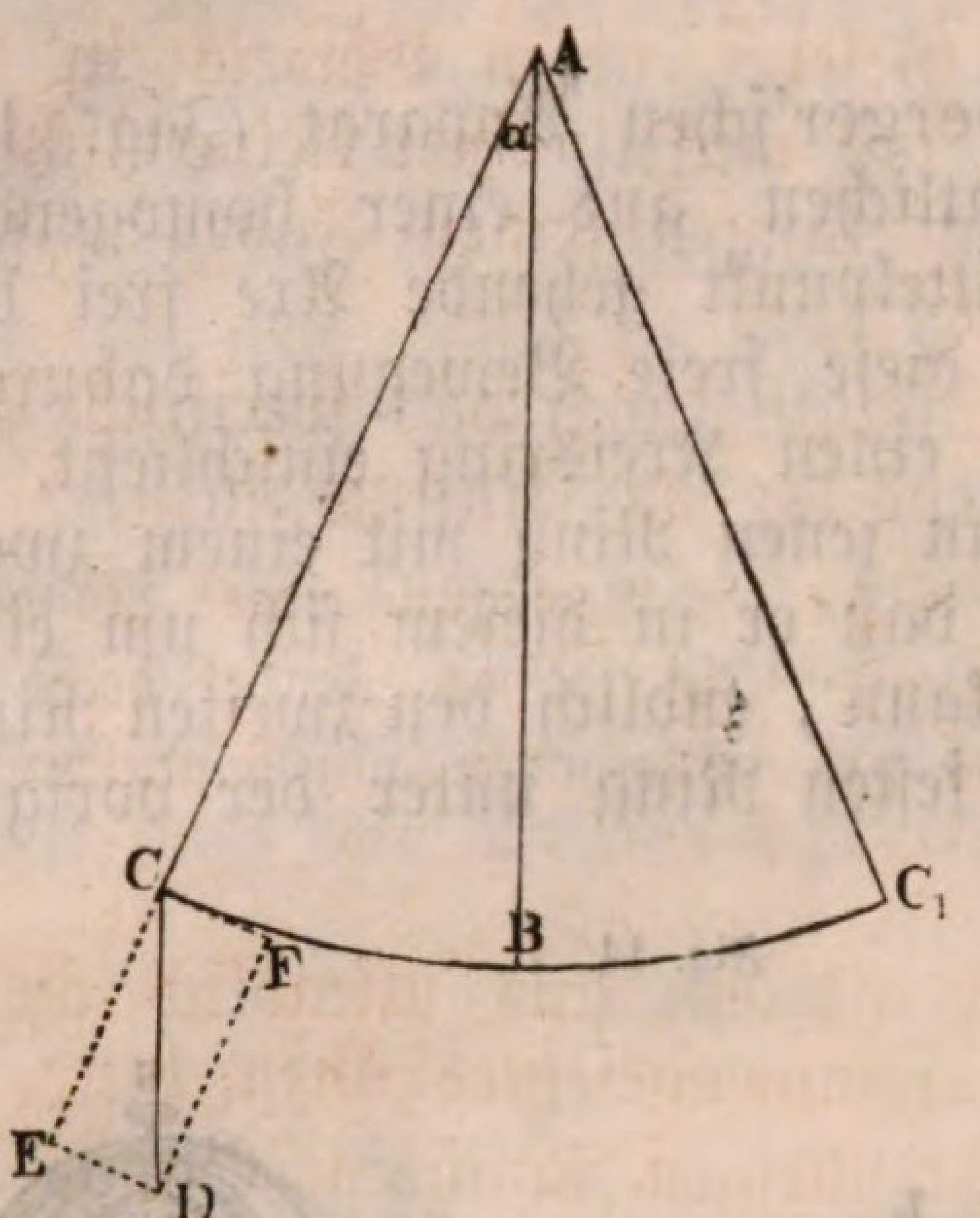
§ 32. Die Wurfbewegung kann man als einen besonderen Fall der Centralbewegung ansehen, in so fern die Erdschwere als sich selbst parallel wirkend angenommen wird, und parallele Linien als Linien betrachtet werden können, die einander in unendlicher Entfernung schneiden. Beide Bewegungen unterscheiden sich aber wesentlich von der Bewegung auf der schiefen Ebene, da bei dieser dem sich bewegenden Punkte von Haus aus ein bestimmter (geradliniger) Weg vorgeschrieben ist.

Tritt an die Stelle der geraden Linie ein Kreisbogen CBC, (Fig. 15), der sich in verticaler Ebene befindet, so erhält man die ebenfalls durch die Schwere bewirkte Pendelbewegung.

Man unterscheidet zwei Arten Pendel:

1) das einfache (mathematische oder ideale) Pendel, d. i. eine schwerlose, unausdehnbare und unbiegsame gerade Linie AB, welche an dem einen Endpunkt (B) schwer und an dem andern (A) so befestigt ist, daß sie sich um denselben in verticaler Ebene frei bewegen kann;

Fig. 15.



2) das zusammengesetzte (physische oder reale) Pendel, d. i. jeder feste Körper, der um einen festen Punkt in verticaler Ebene frei beweglich ist.

§ 33. Das einfache Pendel. Ein Pendel kann nur in verticaler Richtung (AB) ruhen, weil dann der schwere Punkt die tiefste Stelle einnimmt, welche er bei seiner festen Verbindung mit dem Aufhängungspunkt einnehmen kann.

Aus dieser Lage herausgebracht um einen Ausschlagswinkel (Elongationswinkel oder Elevationswinkel) α, muß es in die Gleichgewichtslage AB zurücksinken, der schwere Punkt also einen Kreisbogen CB beschreiben. Vermöge der in B erlangten Endgeschwindigkeit muß er dann in einem dem Bogen CB gleichen Bogen BC, sich weiter bewegen, und zwar in einer in derselben Weise (ungleichmäßig) verzögerten als vorher beschleunigten Bewegung, weil dieselben Kräfte, welche vorher treibend wirkten, jetzt hemmen. Der schwere Punkt wird also stets zwischen C und C, hin und her gehen.

Zerlegt man nämlich die im Punkt C auf den schweren Punkt wirkende Schwere CD in die längs der AC wirkende (spannende) Kraft CE und in die darauf senkrechte (relative) CF, welche allein als bewegend auftritt, so erhält man CF $=$ CD . sin α. Die treibende Kraft nimmt also bei der Bewegung von C nach B bis zu Null ab, da $\angle\ \alpha$ bis Null abnimmt; demnach ist die von ihr erzeugte Bewegung eine ungleichmäßig beschleunigte.

Die Bewegung des Pendels von dem einen Punkt seiner größten Ablenkung und Erhebung (C) bis zum andern (C,) heißt eine Schwingung (Oscillation, Pendelschlag), der Bogen CC, die Amplitude, die auf eine Schwingung verwandte Zeit die Schwingungszeit.

Die Gesetze der Pendelbewegung, ebenfalls von Galilei (und zwar in seinem 18ten Jahre) gefunden, sind:

1) Pendel von gleicher Länge schwingen gleich schnell, d. h. haben gleiche Schwingungszeit, wenn die Ausschlagswinkel nicht zu verschieden sind, überhaupt nicht über 2° betragen.

Pendel von gleicher Länge heißen deshalb isochronisch.

2) Von zwei ungleich langen Pendeln schwingt das längere langsamer (d. h.?), und es verhalten sich die Schwin-

gungszeiten wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen.

Von der Richtigkeit dieser beiden Gesetze, deren Beweis in die höhere Mathematik gehört, kann man sich mittelst einer kleinen schweren Kugel überzeugen, welche an einem langen feinen Faden aufgehängt als einfaches Pendel gelten kann.

Dabei zeigt sich, daß weder das absolute, noch das specifische Gewicht der Kugel auf den Gang des Pendels von Einfluß ist.

Unabhängig von der Größe der Amplitude ist die Bewegung eines Pendels, dessen schwerer Punkt in einer Cycloïde schwingt. Ein solches Pendel heißt ein cycloïdales oder tautochronisches Pendel. (Zwei Methoden, ein Pendel tautochronisch zu machen.)

§ 34. Das physische Pendel ist als ein aus unendlich vielen verschieden langen einfachen Pendeln zusammengesetztes anzusehen.

Da die längsten derselben durch alle übrigen in ihrem Gange beschleunigt, die kürzeren aber durch die längeren verzögert werden, und alle mit einander fest verbunden sind, müssen sie sich in ihrer Bewegung ausgleichen. Derjenige Punkt des Pendels, welcher an und für sich als schwerer Punkt eines einfachen Pendels jene mittlere Bewegung hat, heißt der Schwingungspunkt und seine Entfernung vom Aufhängungspunkt die wahre Länge des physischen Pendels.

Die wahre Länge eines physischen Pendels ist also die Länge des mathematischen P., welches mit dem physischen gleich schnell schwingt. Man kann dieselbe sowohl mittelst höherer Analysis, als durch Experiment bestimmen. Ein zu diesem Zwecke eingerichtetes physisches Pendel heißt ein Reversionspendel; seine aus der Fig. 16 ersichtliche Construction beruht darauf, daß man ohne den Gang eines Pendels zu ändern den Aufhängungspunkt mit dem Schwingungspunkt vertauschen kann.

Fig. 16.



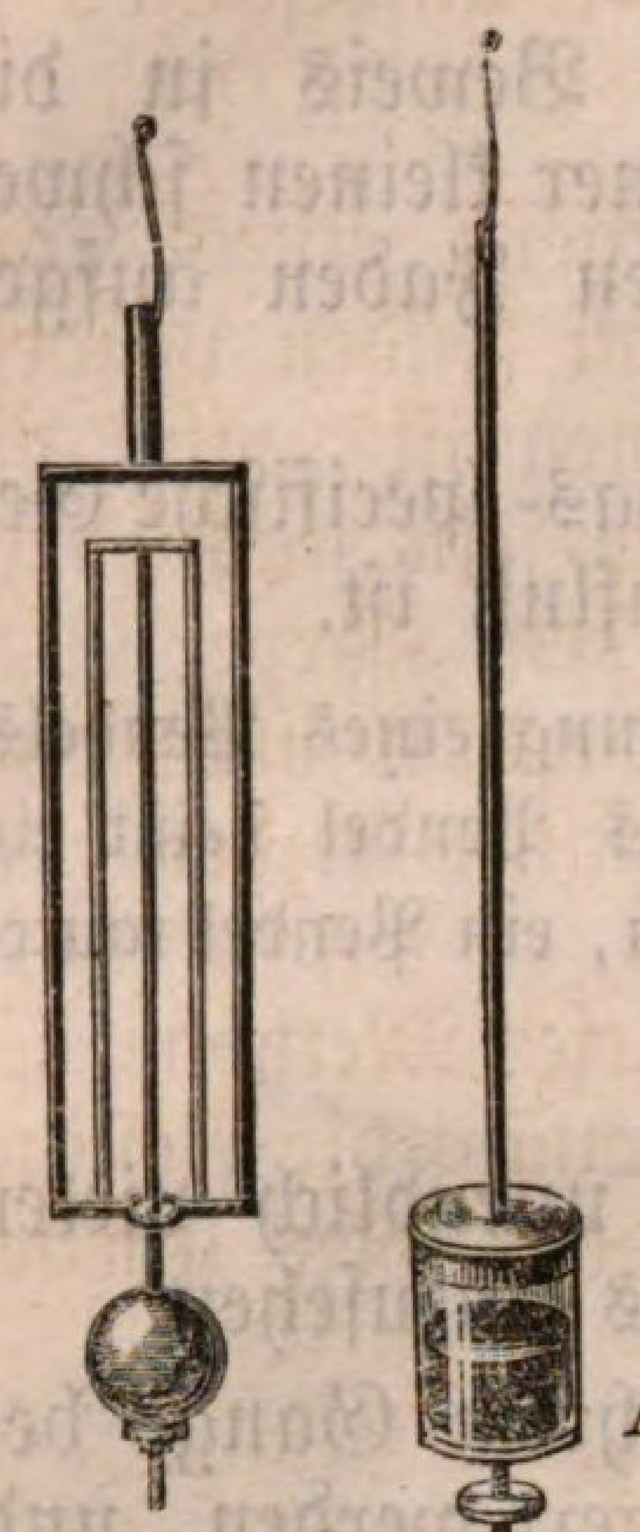
Ein Pendel, dessen Schwingungszeit eine Secunde beträgt, heißt ein Secundenpendel. Seine (wahre) Länge ist bei uns (in mittlerer Breite) etwa 3′ 2″ rheinl.

Da die Schwere nach dem Aequator zu abnimmt (aus 2 Gründen, nämlich? cf. § 29), muß ein Pendel um so langsamer schwingen, je näher der Beobachtungspunkt dem Aequator liegt.

Richer's Beobachtungen in Cayenne 1672.

Da auch die Wärme, wegen ihrer Einwirkung auf die Länge des Pendels (§ 130) seinen Gang afficirt, sucht man die Pendel diesem Einfluß der Temperatur zu entziehen; man construirt Compensationspendel, nämlich Rostpendel und Quecksilber-Compensationspendel. Beide Arten beruhen auf der ungleichen Ausdehnung verschiedener Metalle durch die Wärme.

Fig. 17. Fig. 18.



Bei den Rostpendeln (Fig. 17) sind Stangen aus Stahl und Zink (oder Messing) so combinirt, daß die Ausdehnung der einen durch die nach entgegengesetzter Richtung erfolgende Ausdehnung der andern aufgehoben wird. Es sind nämlich die beiden äußersten Stangen und die mittelste, welche die Linse trägt, von Stahl, die zwischen ihnen liegenden von Messing. (Das erforderliche Längenverhältniß läßt sich leicht bestimmen.)

Die Compensation durch Quecksilber ist aus Fig. 18, in welcher A ein Gefäß mit Quecksilber ist, ohne weiteres klar.

§ 35. Bei den Gesetzen der reinen Phoronometrie war nicht von bewegten Körpern, sondern immer nur von bewegten materiellen Punkten (Molecülen) die Rede. Hat man es mit Körpern zu thun, so muß man sich ihre Masse in einem Punkt vereinigt denken, um welchen herum die Molecüle gleichmäßig vertheilt sind. Dieser Punkt heißt der Schwerpunkt (das Barycentrum, *βαρὺ κέντρον*).

Bei allen homogenen Körpern, welche einen geometrischen Mittelpunkt haben, wie die Kugeln, Kugelschaalen concentrischer Kugeln und die regulären Polyeder, ist der geometrische Mittelpunkt offenbar zugleich der Schwerpunkt. Ebenso ist der Mittelpunkt eines Kreises, eines regulären Vielecks, eines Parallelogramms — wenn ihre Punkte sämmtlich als schwer gedacht werden — zugleich der Schwerpunkt.

Demnach muß der Schwerpunkt eines Kreiscylinders der Mittelpunkt seiner Axe, eben so der Schwerpunkt eines Prisma, dessen Grundflächen Parallelogramme, oder reguläre Vielecke, oder Dreiecke (cf. Planim. § 146) sind, der Mittelpunkt der Linie sein, welche die Schwerpunkte der beiden Grundflächen verbindet.

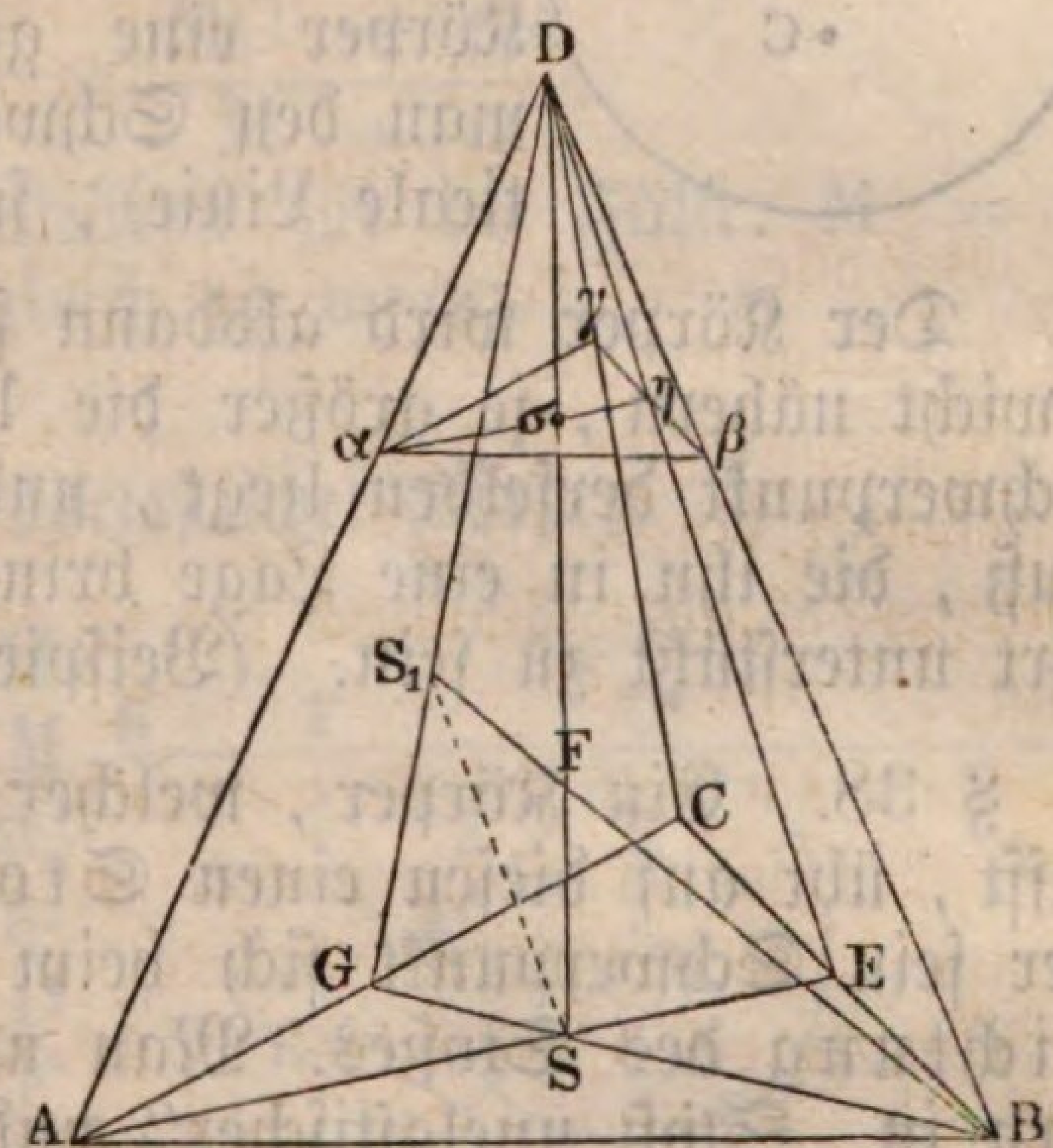
Will man bei andern Körpern das Barycentrum bestimmen, so muß man alle die unzähligen parallelen, einander gleichen Kräfte, in welchen die Erdanziehung auf alle einzelnen Molecüle des Körpers wirkt, in eine einzige zu vereinigen suchen. Dieß läßt sich in Gedanken leicht ausführen; denn offenbar muß die Resultante zweier einander gleichen, parallelen Kräfte, welche auf zwei fest verbundene Punkte A und B wirken, eine ihnen parallele doppelt so große Kraft sein, welche durch die Mitte C der Verbindungslinie AB geht. Der Punkt C heißt der Mittelpunkt der beiden Kräfte. In dieser Weise lassen sich sämmtliche parallelen Schwerkräfte in einander gleiche parallele Kräfte vereinigen, diese wiederum paarweise in andere u. s. w., bis man zu einer Kraft kommt, deren Angriffspunkt der Mittelpunkt aller Kräfte, d. h. der Schwerpunkt des Körpers ist.

Hält man dieser Kraft durch eine ihr gleiche entgegengesetzte das Gleichgewicht (§ 20 extr.), ist also der Schwerpunkt unterstützt, so ist der ganze Körper im Gleichgewicht.

§ 36. Hiernach kann man den Schwerpunkt irgend eines Körpers praktisch bestimmen, indem man ihn an einem Faden pendelartig aufhängt. Wenn der Körper in Ruhe gekommen ist, muß die Verlängerung des Fadens die Richtung der Resultante sein und durch den Schwerpunkt des Körpers gehen. Hängt man den Körper alsdann an einem zweiten beliebigen Punkte auf, so erhält man eine zweite Schwerlinie des Körpers. Der Durchschnittspunkt beider Resultanten ist der gesuchte Schwerpunkt.

Bei homogenen ebenen Scheiben läßt sich nach dieser Methode der Schwerpunkt sehr leicht finden; bei andern Körpern macht die Bestimmung des Punktes, wo die Verlängerung des Fadens den Körper verläßt, das Verfahren etwas unbequem.

Fig. 19.



Den Schwerpunkt einer homogenen 3seitigen Pyramide (Fig. 19) erhält man, wenn man unendlich viele der Grundfläche ABC parallele Ebenen gelegt denkt. Die Schwerpunkte aller so erhaltenen Dreiecke müssen alsdann in der Linie DS liegen, welche die Spitze D mit dem Schwerpunkt der Grundfläche S verbindet. Denn legt man durch AE und AD die Ebene DAE, welche den beliebigen Parallelschnitt $\alpha\beta\gamma$ in $\alpha\eta$ schneidet, so ist, weil $\triangle$ ASD $\sim$ $\alpha\sigma$D und $\triangle$ SED $\sim$ $\sigma\eta$D, AS : SE = $\alpha\sigma : \sigma\eta$, also auch $\alpha\eta$ in σ im Verhältniß von 2 : 1 (Planim. § 146) getheilt. Eben so muß der Schwerpunkt der Pyramide in der Linie BS, liegen, welche B mit dem Schwerpunkt S, des Dreiecks ACD verbindet, demnach Durchschnittspunkt der beiden Linien DS und BS, sein. Zieht man nun SS,, so ist $\triangle$ SS,G $\sim$ BDG, weil GS : GB = GS, : GD (nämlich = 1 : 3); es ist also auch SS, : BD = 1 : 3 und SS, $\parallel$ BD, demnach $\triangle$ SS,F $\sim$ DBF und SF : FD = SS, : BD = 1 : 3. Folglich ist SF = $\frac{1}{4}$ SD.

Denkt man sich noch von F und D auf die Grundfläche ABC Perpendikel gefällt, so verhalten sich auch diese wie 1 : 4.

Der Schwerpunkt einer dreiseitigen Pyramide liegt also in der die Spitze mit dem Schwerpunkt der Grundfläche verbindenden Linie und ist von der Grundfläche um den 4ten Theil der Höhe entfernt.

Dasselbe gilt, wie man sich leicht überzeugt, auch von jeder andern homogenen Pyramide. Bei welchen Pyramiden ist also der Schwerpunkt sehr leicht zu finden?

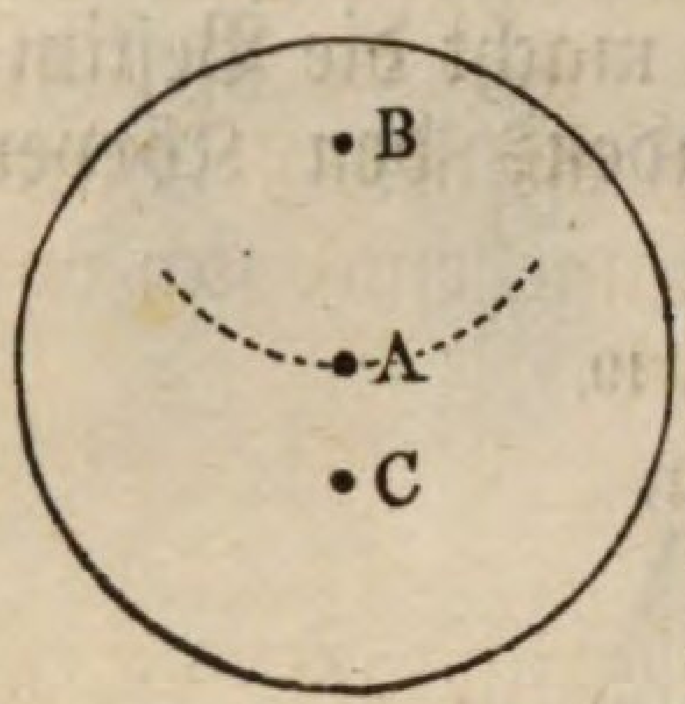
In nicht homogenen Körpern rückt der Schwerpunkt nach den specifisch schwereren Theilen des Körpers.

Stehauf-Männchen. Falsche Würfel.

§ 37. Ein Körper kann auf 3fache Weise unterstützt werden, nämlich im Schwerpunkt, vertical über und unter demselben.

Im 1sten Fall besteht indifferentes Gleichgewicht (d. h.?), im 2ten stabiles; d. h. der Körper wird, durch irgend eine Kraft aus seiner Lage herausgebracht, pendelartig schwingend in dieselbe wieder zurückkehren. Im 3ten Fall hat er ein labiles Gleichgewicht; d. h. er wird aus seiner Lage heraus bewegt in eine neue Gleichgewichtslage übergehen.

Fig. 20.



Dieß veranschaulicht die Fig. 20, wenn BAC eine homogene Scheibe darstellt, welche in einem der 3 Punkte, A, B, C durch eine durch ihn gehende horizontale Axe unterstützt ist.

Will man im Fall labilen Gleichgewichts dem Körper eine gewisse Stabilität geben, dann muß man den Schwerpunkt nicht durch einen Punkt (verticale Linie), sondern durch eine Fläche unterstützen.

Der Körper wird alsdann sich um so mehr dem stabilen Gleichgewicht nähern, je größer die Unterstützungsfläche ist, je näher der Schwerpunkt derselben liegt, und überhaupt, je größer die Kraft sein muß, die ihn in eine Lage bringt, bei welcher der Schwerpunkt aufhört unterstützt zu sein. (Beispiele.)

§ 38. Ein Körper, welcher in seiner Bewegung auf einen andern trifft, übt auf diesen einen Stoß aus. Die gerade Linie, in welcher sein Schwerpunkt sich beim Zusammentreffen bewegt, heißt die Richtung des Stoßes. Man unterscheidet den Stoß nach den Körpern in „Stoß unelastischer" und „Stoß elastischer Körper" und nach der Richtung in centralen und excentrischen Stoß, je nachdem die Richtung der Bewegung (oder, wenn beide Körper bewegt sind, die Richtungen der Bewegung) durch beide Schwerpunkte geht, oder nicht.

Der Stoß heißt gerade, wenn die Richtung der Bewegung (resp. die Richtungen) auf der beiden Körpern im Treffpunkt gemeinschaftlichen Tangentialebene senkrecht steht, sonst schief.

Bei homogenen Körpern, welche ausschließlich in Betracht kommen sollen, ist der centrale Stoß zugleich gerade und der excentrische schief.

I. a) Gerader Stoß unelastischer Körper.

§ 39. Die Erfahrung lehrt, in Uebereinstimmung mit der Reflexion, daß zwei gleich große und gleich schwere unelastische Kugeln, welche in entgegengesetzter Richtung mit gleichen Geschwindigkeiten auf

einander treffen, nach dem Stoße in Ruhe bleiben. Dasselbe tritt ein, wenn die Massen M und m sich umgekehrt wie die Geschwindigkeiten C und c verhalten, also wenn $M : m = c : C$ ist; denn dann ist $MC = mc$, d. h. die Größen der Bewegung sind einander gleich.

Ist dagegen $MC > mc$, so gehen beide Kugeln vereint (wie der Versuch zeigt) in der Richtung derjenigen Kugel weiter, welche die größere quantitas motus hat.

Die Geschwindigkeit γ der nach dem Stoß vereinigten Masse ergiebt sich aus dem Axiom, daß die Summe der Größen der Bewegung vor dem Stoße gleich der Größe der Bewegung der nach dem Stoße vereinigten Masse sein muß.

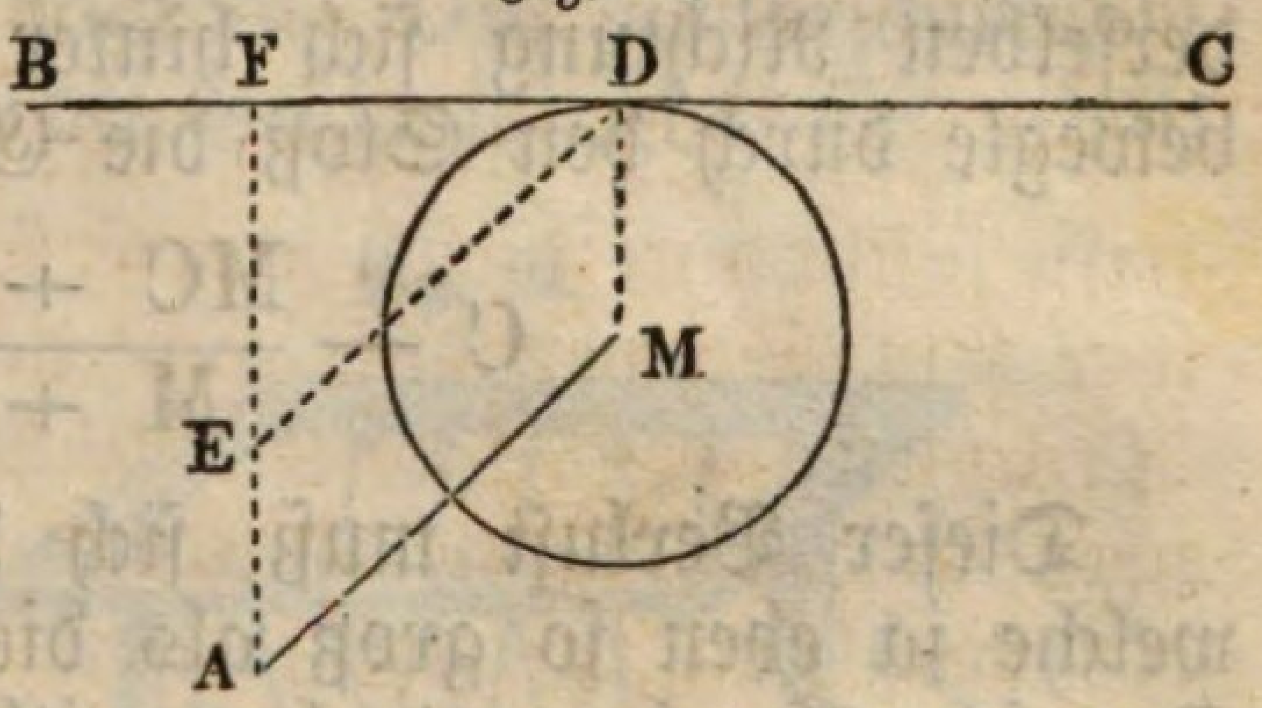
Dasselbe ist unter den beiden ersten Voraussetzungen unmittelbar einleuchtend, da man bei den entgegengesetzten Richtungen das eine C negativ nehmen muß; man erhält dann $MC - mc = o$. Für den 3ten Fall ist es angemessen, zunächst zwei in derselben Richtung sich bewegende Kugeln (die langsamere natürlich vorangehend) sich vorzustellen. Dann hat man nach eben jenem Grundsatz

$$MC + mc = (M + m)\gamma, \text{ also } \gamma = \frac{MC + mc}{M + m}.$$

Die Formel läßt sich leicht specialisiren für die Fälle: $M = m$, $c = o$ oder c negativ, M im Vergleich zu m ∞.

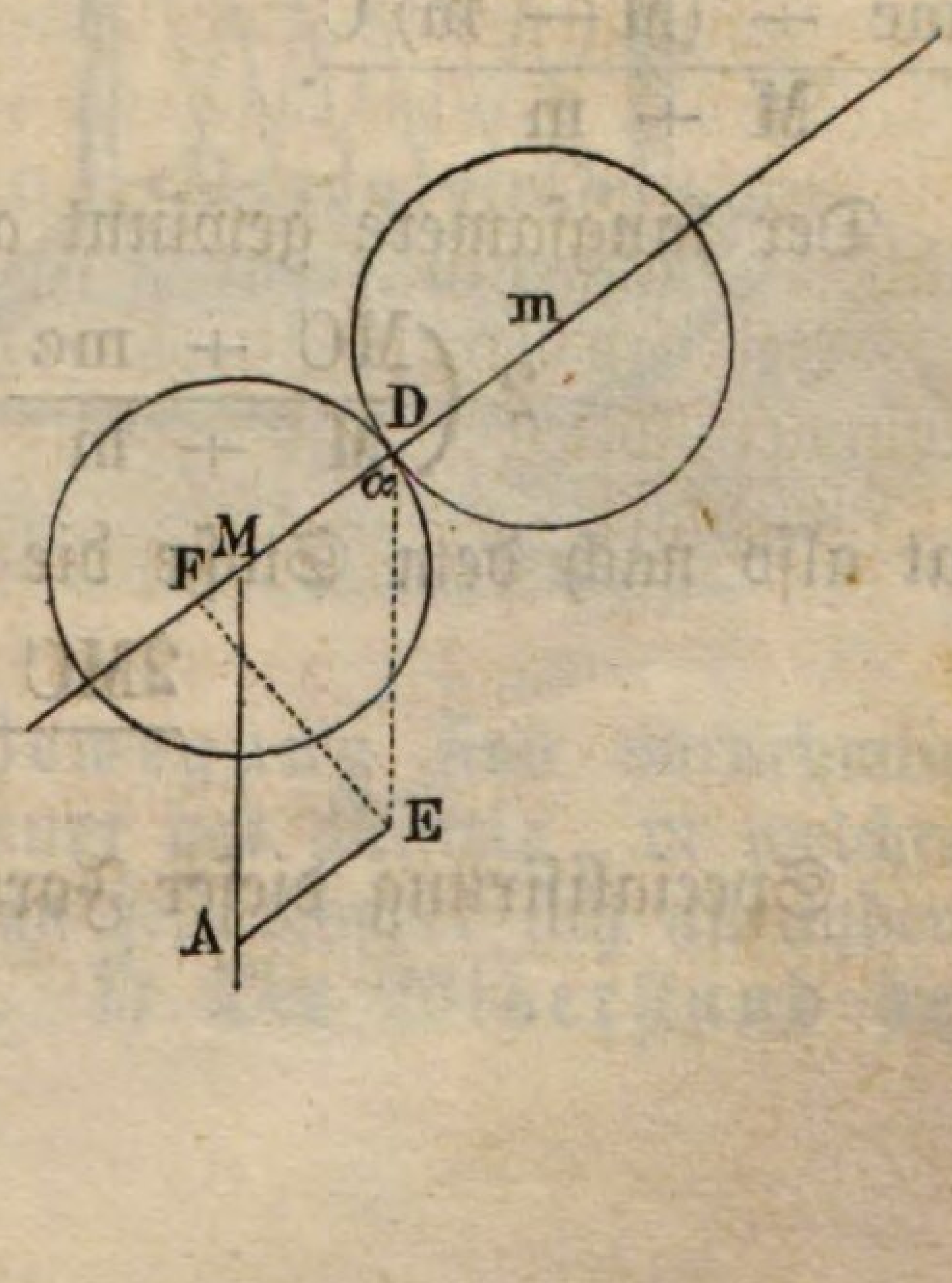
I. b) Schiefer Stoß unelastischer Körper.

Fig. 21.



Trifft eine in der Richtung AM (Fig. 21) mit der Geschwindigkeit AM bewegte Kugel M eine feste Ebene BC in D, so zerlege man die Geschwindigkeit ED (= AM) des Punktes D in EF und FD; dann bleibt, da EF wegen der Festigkeit der Ebene BC zu Null wird, noch FD als Geschwindigkeit der längs DC sich fortbewegenden Kugel.

Fig. 22.



Trifft eine Kugel M, die in der Richtung AM (Fig. 22) sich mit der Geschwindigkeit AM bewegt, auf eine ruhende (aber bewegliche) Kugel m im Punkt D, so zerlege man wiederum ED in EF und FD, und man erhält als Geschwindigkeit der Kugel M in der Richtung Mm die Linie FD, welche (nach 1, a) nach dem Stoße in $\frac{FD.M}{M + m}$, d. i. $\frac{DE.M.\cos\alpha}{M + m}$ oder,

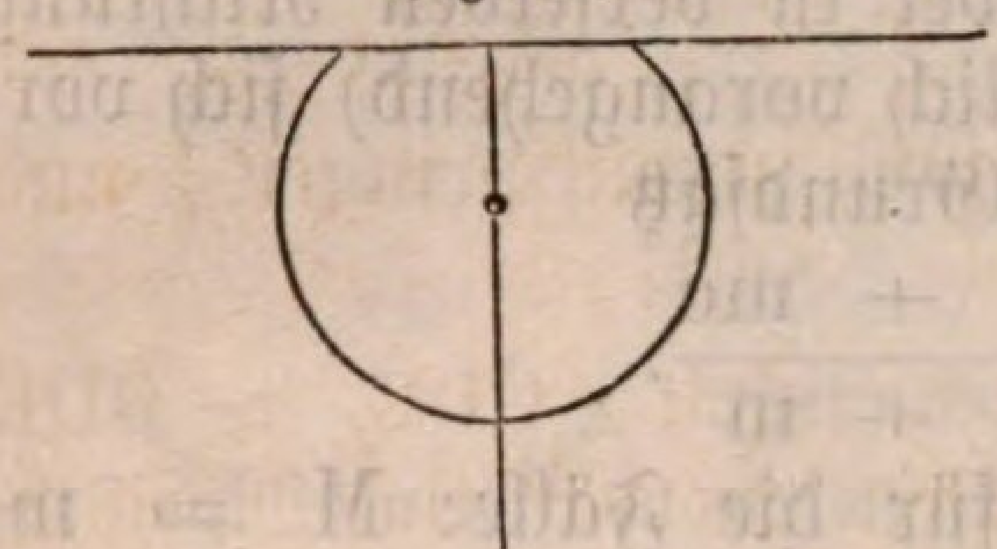
wenn M = m ist, in $\frac{1}{2}$DE.cos α übergehen muß. Eben so groß ist die Geschwindigkeit der Kugel m nach dem Stoße. Für M tritt noch die Geschwindigkeit EF hinzu, mit welcher man jene zusammensetzen muß, um die schließliche Bewegung der Kugel M zu erhalten.

Von der Rotationsbewegung, welche die unausbleibliche Folge jedes excentrischen Stoßes ist, muß hier abstrahirt werden, da sie die Erscheinungen zu sehr complicirt.

Waren beide Kugeln bewegt, dann muß man die zwei Bewegungen, welche jede der beiden Kugeln bei dem Stoß erhält, zusammensetzen.

II. a) Gerader Stoß elastischer Körper.

Fig. 23.



Eine elastische Kugel, welche an eine feste Ebene senkrecht herangetrieben wird, muß sich abplatten, bis sie die Gestalt (Fig. 23) annimmt, dann mit derselben Kraft, mit welcher sie an die Ebene heranbewegt wurde, ihre frühere Gestalt und ihr früheres Volumen wieder herstellen; sie wird also, da die Ebene nicht nachgiebt, mit derselben Geschwindigkeit, mit welcher sie an die Ebene herankam, wieder zurückgehen. Das ist die Rückwirkung der Elasticität (§ 8).

Nun verliert bei dem geraden Stoße unelastischer Körper, die in derselben Richtung sich hinter einander bewegt haben, der schneller bewegte durch den Stoß die Geschwindigkeit

$$C - \frac{MC + mc}{M + m} = \frac{m.(C - c)}{M + m}.$$

Dieser Verlust muß sich durch die Rückwirkung der Elasticität, welche ja eben so groß als die Wirkung des Stoßes ist, verdoppeln. Der schneller bewegte hat mithin nach dem Stoße die Geschwindigkeit

$$\frac{2mc + (M - m) C}{M + m}.$$

Der langsamere gewinnt an Geschwindigkeit in Summa

$$2\left(\frac{MC + mc}{M + m} - c\right), \text{ d. i. } \frac{2M.(C - c)}{M + m},$$

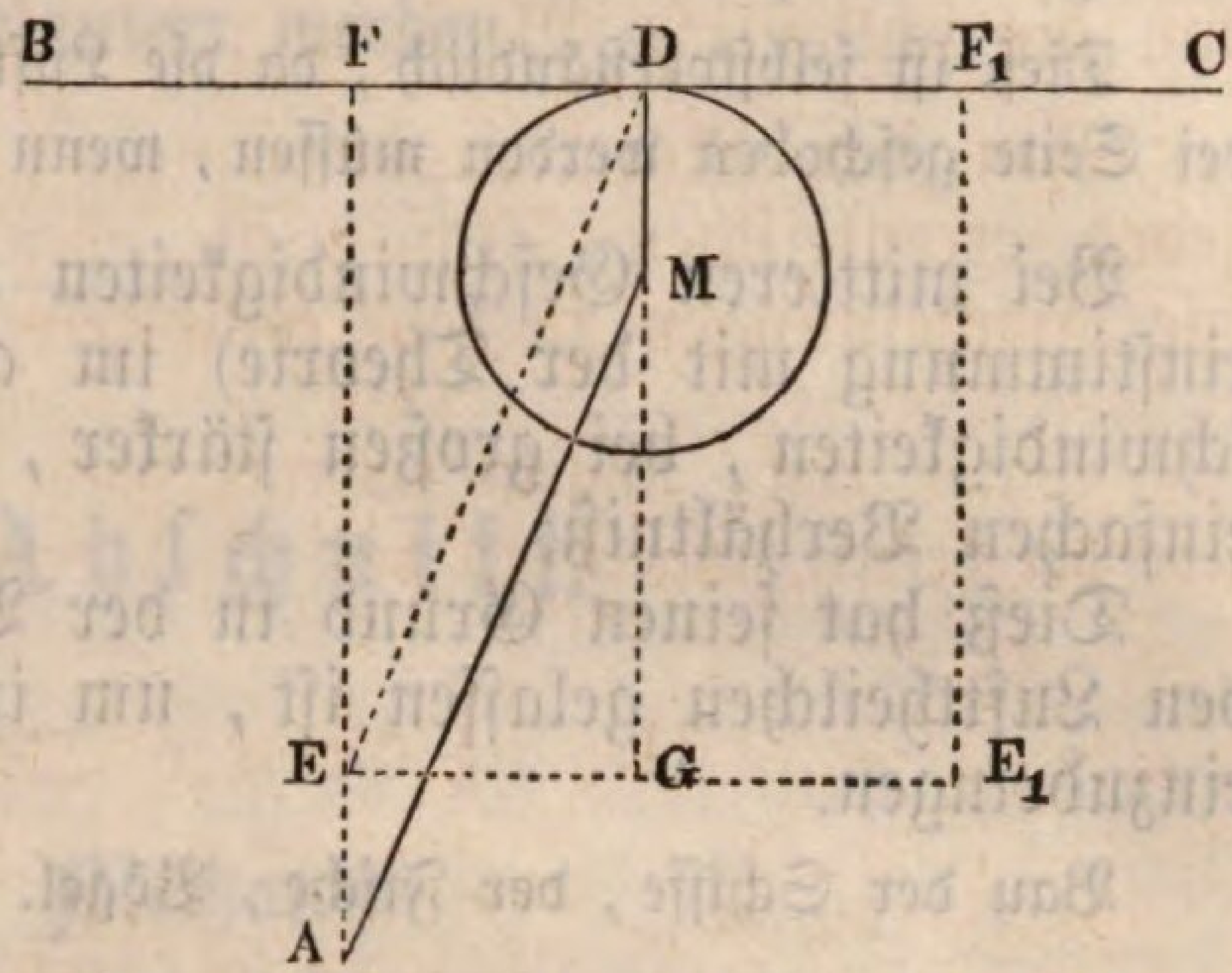
hat also nach dem Stoße die Geschwindigkeit

$$\frac{2MC - (M - m)c}{M + m}.$$

Specialisirung dieser Formeln.

II. b) Schiefer Stoß elastischer Körper.

Fig. 24.



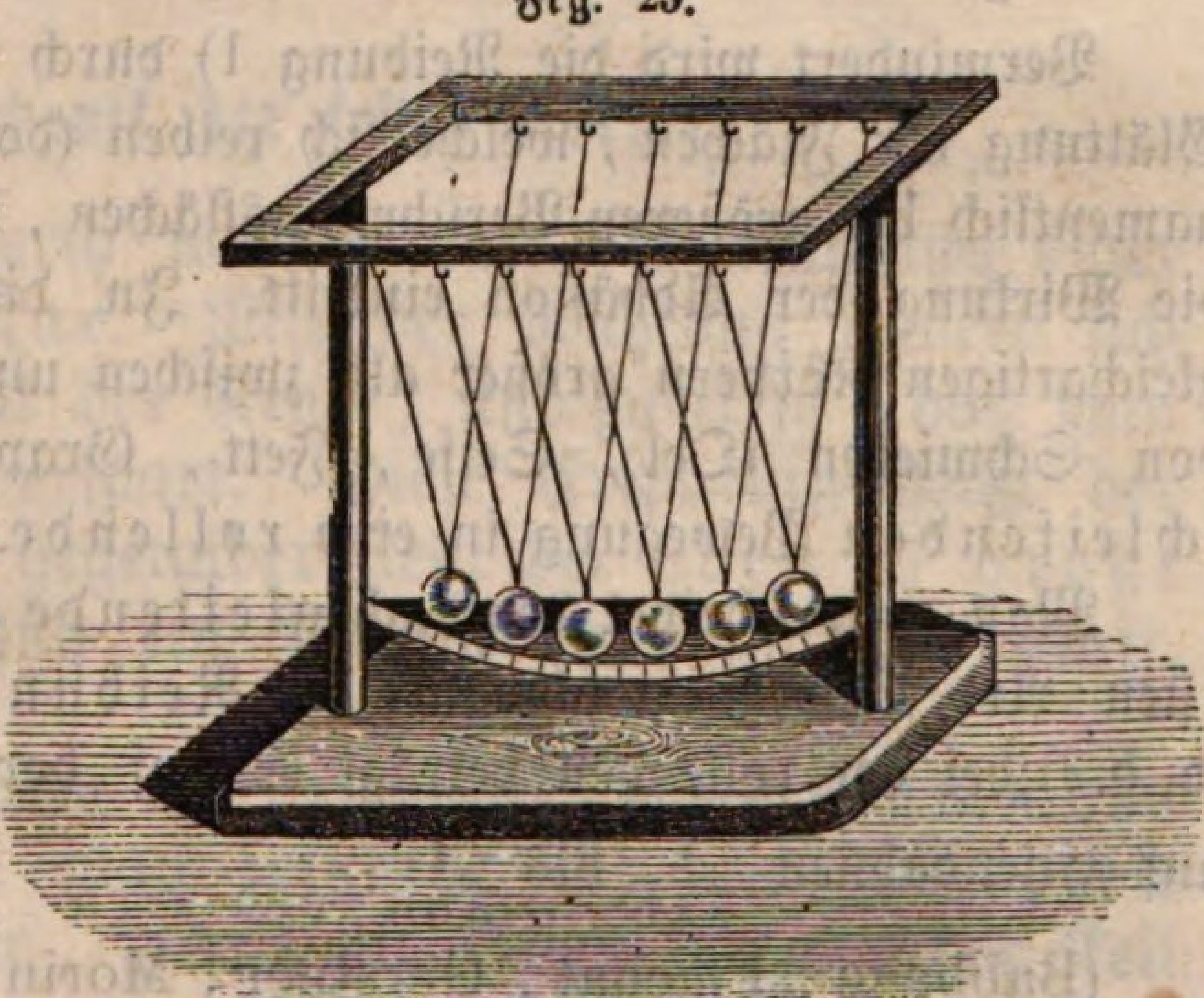
Trifft eine in der Richtung AM (Fig. 24) mit der Kraft AM bewegte elastische Kugel die feste Ebene BC in D, und zerlegt man wiederum ED (die = AM ist) in FD und GD: so ist ersichtlich, daß FD der Kugel die Geschwindigkeit DF, (= FD) geben muß, während GD zu Null wird, aber wegen der unmittelbar darauf eintretenden Rückwirkung der Elasticität die Geschwindigkeit DG erzeugt.

Die Kugel wird also in der Richtung DE, zurückspringen, und es wird ∠ GDE, = GDE sein.

In der Wirklichkeit muß wegen unvollkommener Elasticität ∠ GDE, > GDE ausfallen. Auch die andern Gesetze des Stoßes erleiden dadurch eine Modification, daß es eben so wenig einen vollkommen unelastischen, als einen vollkommen elastischen Körper giebt.

Sind in Fig. 22 beide Kugeln M und m elastisch und gleich schwer, aber nur M bewegt, so hat nach dem Stoße m die Geschwindigkeit FD = ED.cos α, während M in der Richtung Dm die Geschwindigkeit Null und in der darauf senkrechten die Geschwindigkeit EF erhält.

Fig. 25.



Die Gesetze des geraden Stoßes veranschaulicht man durch die Nollet'sche Percussions-Maschine, deren Einrichtung aus Fig. 25 unmittelbar erhellt. Um alle Gesetze des Stoßes durch Versuch nachzuweisen, muß man sich des Billards bedienen, bei welchem aber die Reibung an der Billardplatte eine Rotation hervorbringt, welche die Gesetze wesentlich und in belehrender Weise modificirt. Auch eignet sich das Billard dazu sehr, die Gesetze des schiefen Stoßes zu erläutern.

§ 40. Die Hindernisse der Bewegung sind vornehmlich 1) der Widerstand der Luft, überhaupt des Mittels, in welchem die Bewegung vor sich geht, und 2) wenn feste Körper sich an andern festen Körpern bewegen, die Reibung. 1) Der Widerstand der

Luft ist um so größer, je dichter die Luft, je größer die die Luft senkrecht zertheilende Fläche, und je größer die Geschwindigkeit des bewegten Körpers ist.

Dieß ist selbstverständlich, da die Lufttheilchen von dem bewegten Körper erst bei Seite geschoben werden müssen, wenn die Bewegung möglich sein soll.

Bei mittleren Geschwindigkeiten wächst der Widerstand (in Uebereinstimmung mit der Theorie) im quadratischen Verhältniß der Geschwindigkeiten, bei großen stärker, bei geringen, wie es scheint, im einfachen Verhältniß.

Dieß hat seinen Grund in der Verschiedenheit der Zeiten, welche den Lufttheilchen gelassen ist, um in den sich bildenden leeren Raum einzudringen.

Bau der Schiffe, der Fische, Vögel. Linsen an den Pendeln. Fallschirme.

Die Reibung (Friction), eine Folge der Unebenheiten an den Oberflächen der Körper, welche mit einander in Berührung kommen, wird durch Tribometer (Amontons, Bilfinger, Coulomb) gemessen.

Die Reibung ist 1) um so größer, je rauher die Flächen sind, welche sich an einander reiben; 2) dem Druck proportionirt, den der Körper, wenn er auf einer horizontalen Unterlage sich bewegt, auf diese ausübt, bei gleichem Drucke aber unabhängig von der Größe der Berührungsflächen; 3) sie wächst mit der Zeit, während deren der Körper auf der Unterlage ruhte, bis zu einem, früher oder später, eintretenden Maximum; 4) sie ist im Anfange der Bewegung größer als während derselben, von der Geschwindigkeit der Bewegung aber im Allgemeinen wenig abhängig.

Vermindert wird die Reibung 1) durch Verringerung des Drucks, 2) durch Glättung der Flächen, welche sich reiben (doch kann auch eine zu strenge Politur, namentlich bei größeren Berührungsflächen, die Reibung verstärken, weil alsdann die Wirkung der Adhäsion eintritt. In diesem Falle ist die Reibung zwischen gleichartigen Körpern größer als zwischen ungleichartigen); 3) durch Anwendung von Schmieren (Oel, Seife, Fett, Graphit) und 4) durch Verwandlung der schleifenden Bewegung in eine rollende.

Man unterscheidet demnach gleitende und rollende Reibung. Bei der 1sten Art Bewegung schwankt der Reibungs-Coëfficient zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$ (d. h.?); bei der rollenden beträgt er auf horizontalen Chausseen nur $\frac{1}{15}$ bis $\frac{1}{20}$, auf Eisenbahnen $\frac{1}{240}$ bis $\frac{1}{400}$.

(Babbage, Flachat, Gerstner, Morin u. A.)

Bei Holz auf Holz ist die Reibung größer, wenn die Fasern einander kreuzen, als wenn sie längs einander hinlaufen; und sie wird durch Feuchtigkeit gesteigert.

Soll die Bewegung einer Rolle durch Schnüre (Seile, Ketten) auf eine andere übertragen werden, dann ist die Reibung nothwendig

und muß möglichst verstärkt werden. Deswegen rechnet man auch die Steifheit der Stricke (Seile) zu den Hindernissen der Bewegung.

Daß die Reibung noch in vielen andern Fällen von wesentlichem Nutzen ist, mag durch Beispiele erläutert werden.

Dritter Abschnitt.

Statik und Mechanik.

§ 41. Jede Einwirkung der Kräfte auf Körper hat, je nachdem die Kräfte einander das Gleichgewicht halten oder nicht, Ruhe oder Bewegung zur Folge.

Die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte an Körpern (oder vom Gleichgewicht der Körper, insofern Kräfte auf sie wirken) heißt Statik, die Lehre von der Bewegung der Körper durch Kräfte Mechanik. Sowohl die Statik, als die Mechanik theilt man nach dem Aggregatzustand der Körper, auf welche die Kräfte wirken, in drei Theile, nämlich in die Statik und Mechanik der festen Körper (St. und M. schlechtweg), in die Statik und Mechanik der flüssigen Körper (Hydrostatik und Hydrodynamik) und in die Statik und Mechanik der luftförmigen Körper (Aërostatik und Aërodynamik oder Pneumatik).

I. Statik und Mechanik der festen Körper.

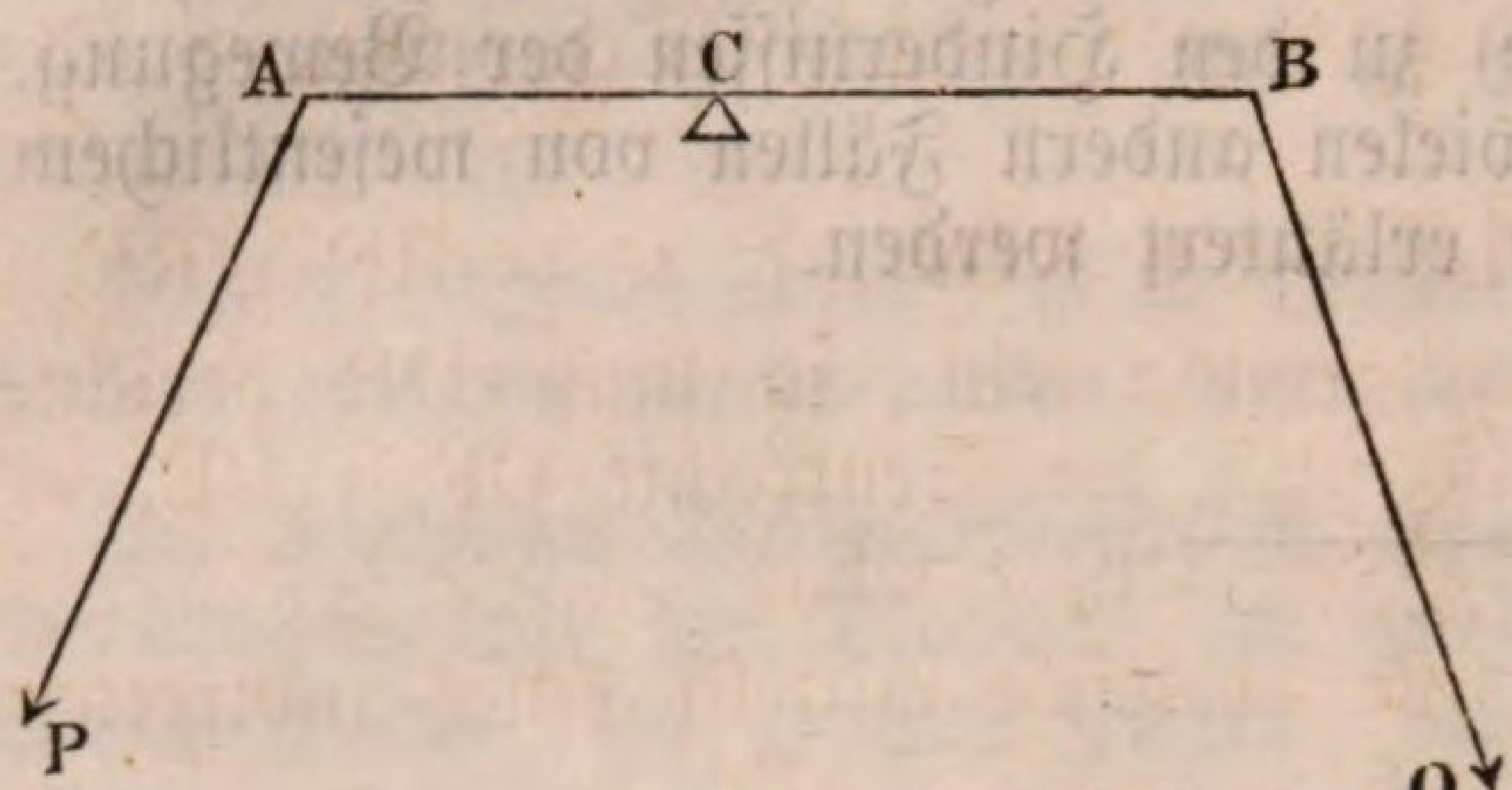
§ 42. Jede Vorrichtung, durch welche man die Richtung einer Kraft ändert, heißt eine Maschine. Mit der Richtung ändert sich in der Regel auch die Wirksamkeit der Kraft, und zwar so, daß man entweder an Kraft oder an Zeit erspart. Diese Ersparniß heißt der mechanische Vortheil Ihm gegenüber steht der eben so große mechanische Nachtheil, nämlich ein Verlust an Zeit oder Kraft. (D. h.?)

Man unterscheidet die Maschinen in einfache und zusammengesetzte. Als einfach betrachtet man folgende 6: den Hebel, die Rolle und das Rad an der Welle, ferner die schiefe Ebene, den Keil und die Schraube.

A. Der Hebel.

§ 43. Der Hebel ist entweder einfach (mathematisch oder ideal) oder zusammengesetzt (physisch, real). Unter einem physischen Hebel versteht man jeden festen unbiegsamen Körper, welcher um einen sei-

Fig. 26.



ner Punkte beweglich ist, unter einem mathematischen H. dagegen eine schwerlose unbiegsame Linie AB (Fig. 26), welche an einem ihrer Punkte C befestigt (unterstützt) ist und an zwei andern Punkten A und B durch Kräfte P und Q in entgegengesetzter Richtung bewegt wird oder doch Bewegungs-Antriebe erhält. Der Punkt C heißt der Unterstützungspunkt (Drehpunkt, Hypomochlion), die Punkte A und B heißen die Angriffspunkte der Kräfte, und die Theile der Linie AB von C bis A und B die Hebelarme. Der Hebel heißt geradlinig, krummlinig oder ein Winkelhebel, je nachdem ACB eine gerade, eine krumme oder eine gebrochene Linie ist.

Endlich sind die Hebel zweiarmig oder einarmig, je nachdem Punkt C zwischen A und B liegt oder nicht.

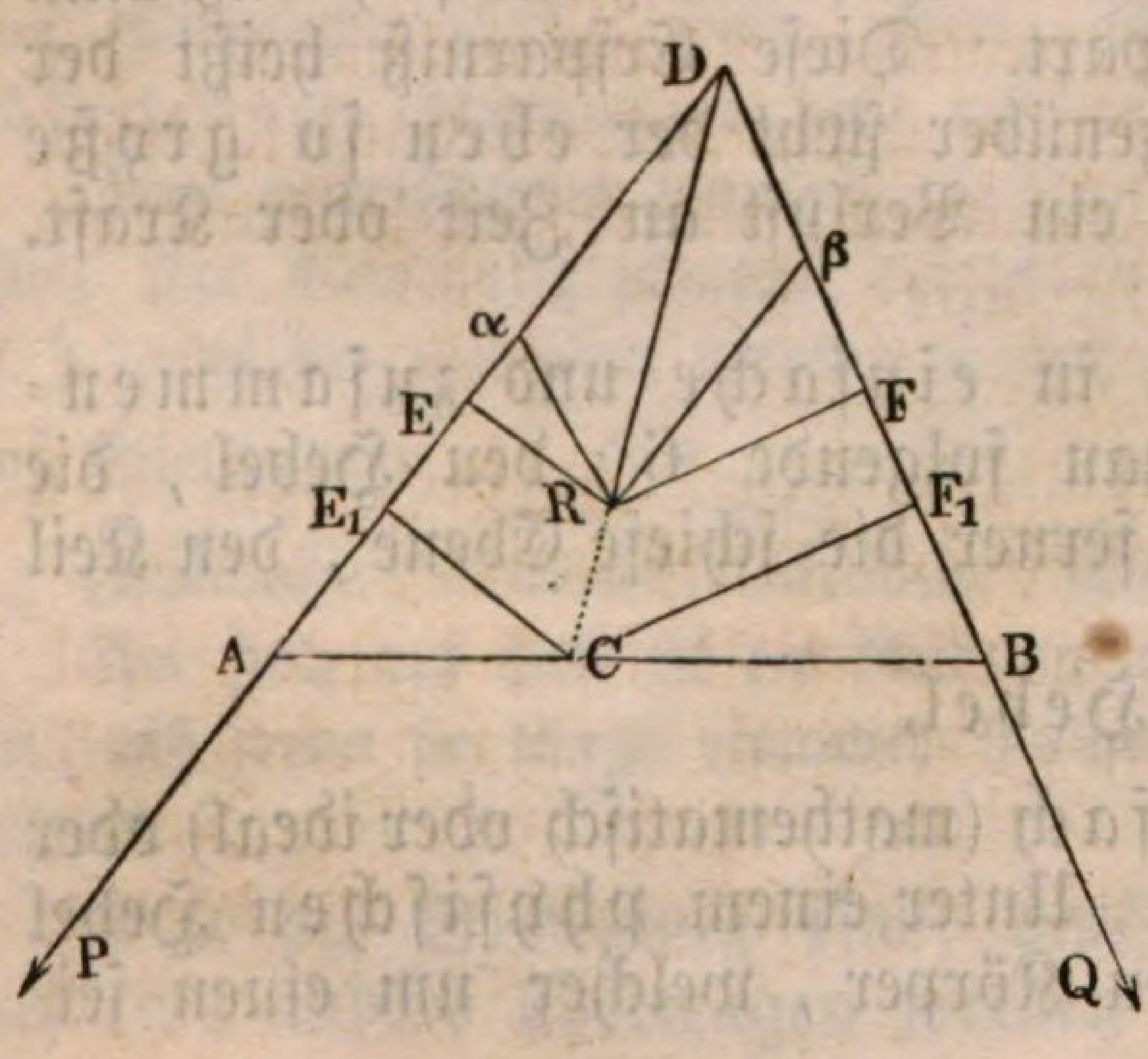
Der einarmige Hebel ist eigentlich auch ein zweiarmiger; nur daß seine Arme nicht völlig von einander räumlich geschieden sind.

Die beiden Kräfte P und Q unterscheidet man noch in Kraft (katexochen) und Last, indem man unter letzterer diejenige Kraft versteht, welche überwunden oder doch im Gleichgewicht erhalten werden soll.

§ 44. Für alle 3 Arten Hebel gilt das Gesetz:

Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last sich umgekehrt verhalten wie ihre Entfernungen (d. h. die Entfernungen ihrer Richtungen) vom Unterstützungspunkt — und umgekehrt:

Fig. 27.



Wenn der Hebel im Gleichgewicht ist, so müssen Kraft und Last sich umgekehrt wie ihre Entfernungen vom Unterstützungspunkt verhalten.

Der Beweis der Umkehrung ist etwas leichter und zwar in folgender Weise zu führen:

Verlängert man die Linien PA und QB (Fig. 27) bis zum Durchschnittspunkt D und denkt man sich die Angriffspunkte (nach einem physikalischen Grundsatz, der sich auch wohl beweisen läßt) in den Punkt D ver-

legt: so ist, wenn $D\alpha$ und $D\beta$ die Kräfte P und Q bedeuten, DR (nach § 19) ihre Resultante. Nach dem Sinussatz (Trigonom. § 23) verhält sich aber

$$D\alpha : R\alpha \text{, d. i. } D\beta = \text{Sin } RD\beta : \text{Sin } RD\alpha \text{, d. i. } = RF : RE.$$

Soll nun der Hebel im Gleichgewicht sein, so muß DR verlängert durch C gehn. Es wird also auch die Senkrechte $CF_, : CE_, = RF : RE$ sein, demnach $D\alpha : D\beta = CF_, : CE_,$.

Der 1ste Satz ergiebt sich nunmehr leicht mittelst eines indirecten Beweises.

Da im Beweise die Gestalt der Linie ACB gar nicht in Betracht kam, gilt er offenbar auch für den Fall, daß ACB eine gebrochene oder eine krumme Linie ist.

Aus der Proportion $P : Q = CF_, : CE_,$ ergiebt sich $P . CE_, = Q . CF_,$.

Das Product aus einer Kraft in ihre Entfernung von einem festen Punkte nennt man ihr statisches Moment in Bezug auf den Punkt. Man hat also den Satz:

Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die statischen Momente von Kraft und Last einander gleich sind — und umgekehrt.

Bei parallelen Kräften treten an die Stelle der Senkrechten $CF_,$ und $CE_,$ die Hebelarme CB und CA, da die von ihnen gebildeten Dreiecke einander ähnlich sind.

Der physische Hebel läßt sich auf den mathematischen zurückführen; doch ist dieß nicht einfach genug, um hier erörtert zu werden.

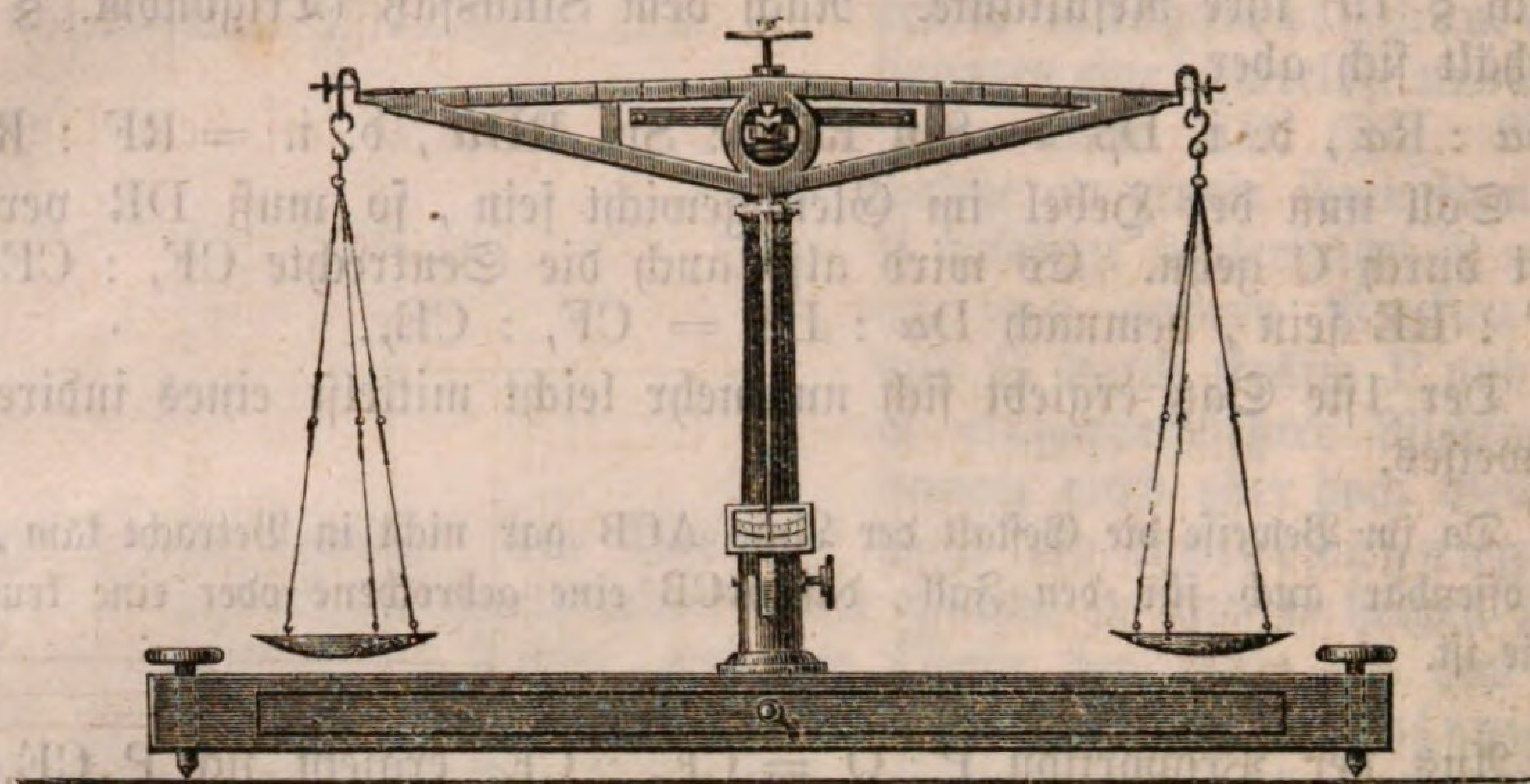
Aus dem Gleichgewichtsgesetz folgt, daß beim gleicharmigen (zweiarmigen) Hebel Kraft und Last nur dann einander das Gleichgewicht halten, wenn ihre Entfernungen vom Unterstützungspunkte gleich sind. Bei den andern muß die Kraft, welche einer größeren Last das Gleichgewicht halten soll, weiter vom Drehpunkt entfernt sein.

Beispiele von Hebeln sind: Die gemeine Kaufmannswage, die Schnellwage, die Brückenwage, Scheeren, Zangen, Schaukelbretter, Schlüssel u. s. w. Nußknacker, Schubkarren, Brecheisen, Schneidemesser, Ventile u. s. w.; Federn, Bleistifte, Pinsel.

§ 45. Ein zweiarmiger gleicharmiger Hebel ist die gemeine Wage, ein für den Physiker sehr wichtiges Instrument.

Sie besteht, wie bekannt, aus dem Wagebalken, der Zunge und den Wagschalen (Fig. 28). Sie muß, wenn sie richtig sein soll, sich unbelastet so ins Gleichgewicht stellen, daß der Wagebalken horizontal schwebt, und gleichbelastet sich wiederum so ins Gleichgewicht setzen.

Fig. 28.

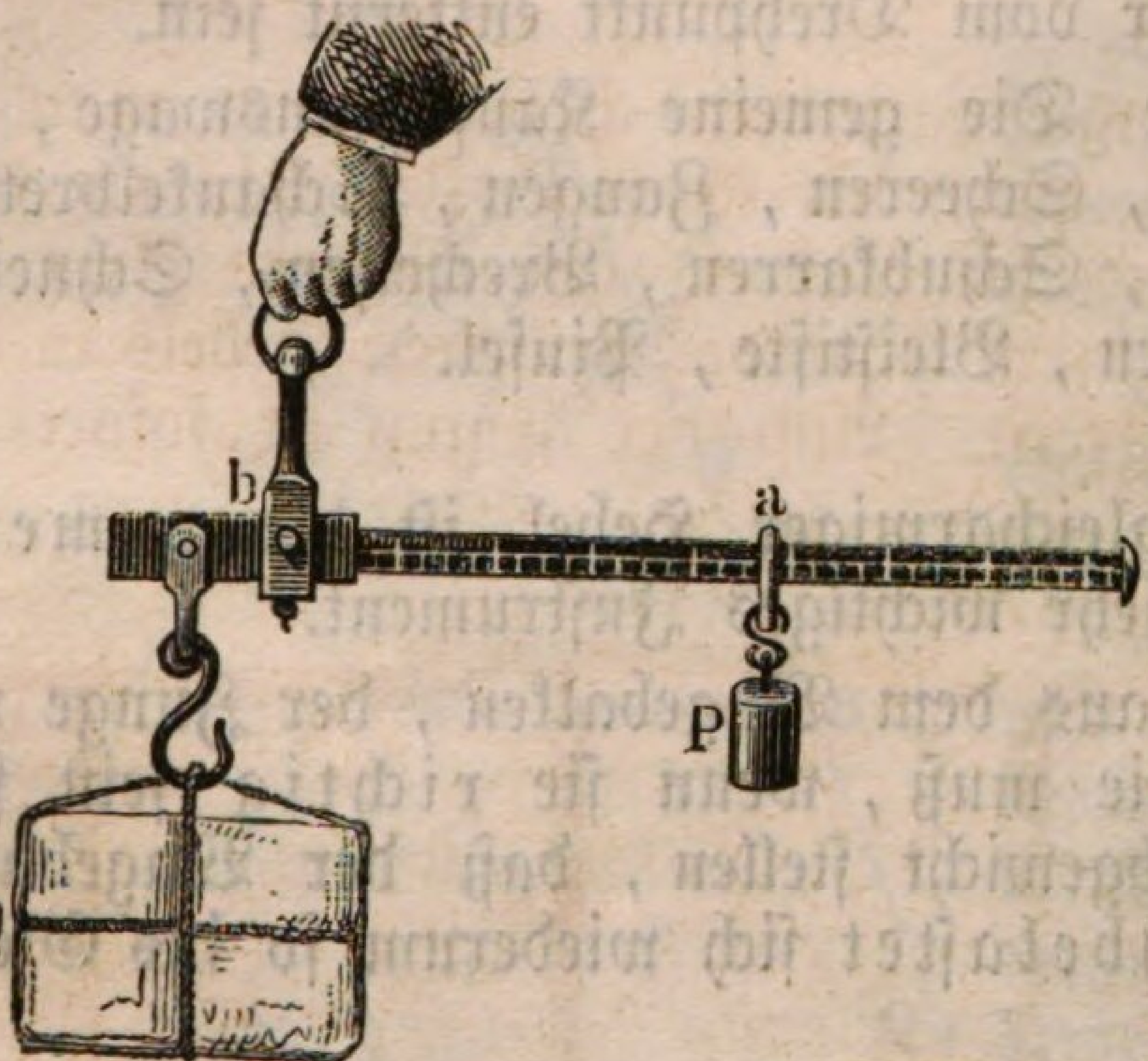


Dazu ist erforderlich, daß beide Arme des Wagebalkens gleich lang und gleich schwer, und ihre Schwerpunkte vom Drehpunkt gleich weit entfernt sind.

In der Wirklichkeit ist dieß schwer zu erreichen; deshalb bedient man sich bei Bestimmung von Gewichten der doppelten Abwägung. Man wägt nämlich den Körper zunächst gegen beliebige Gewichte (Schrotkörner oder dergl.) ab und ersetzt ihn dann durch die eigentlichen Maßgewichte, bis wieder Gleichgewicht hergestellt ist.

Eine gute Wage muß aber außerdem empfindlich sein und schnell wieder zur Ruhe kommen. Dieß ist der Fall, wenn bei der Gleichgewichtslage der Schwerpunkt der Wage lothrecht unter dem Unterstützungspunkt liegt, und die sie verbindende Linie von der die Aufhängungspunkte verbindenden Linie senkrecht geschnitten wird. (Deshalb macht man den Wagebalken — aber ohne seiner Festigkeit zu schaden — möglichst leicht.) Je näher der Schwerpunkt an der Drehungsaxe liegt, und je länger der Wagebalken ist, um so empfindlicher ist die Wage.

Fig. 29.

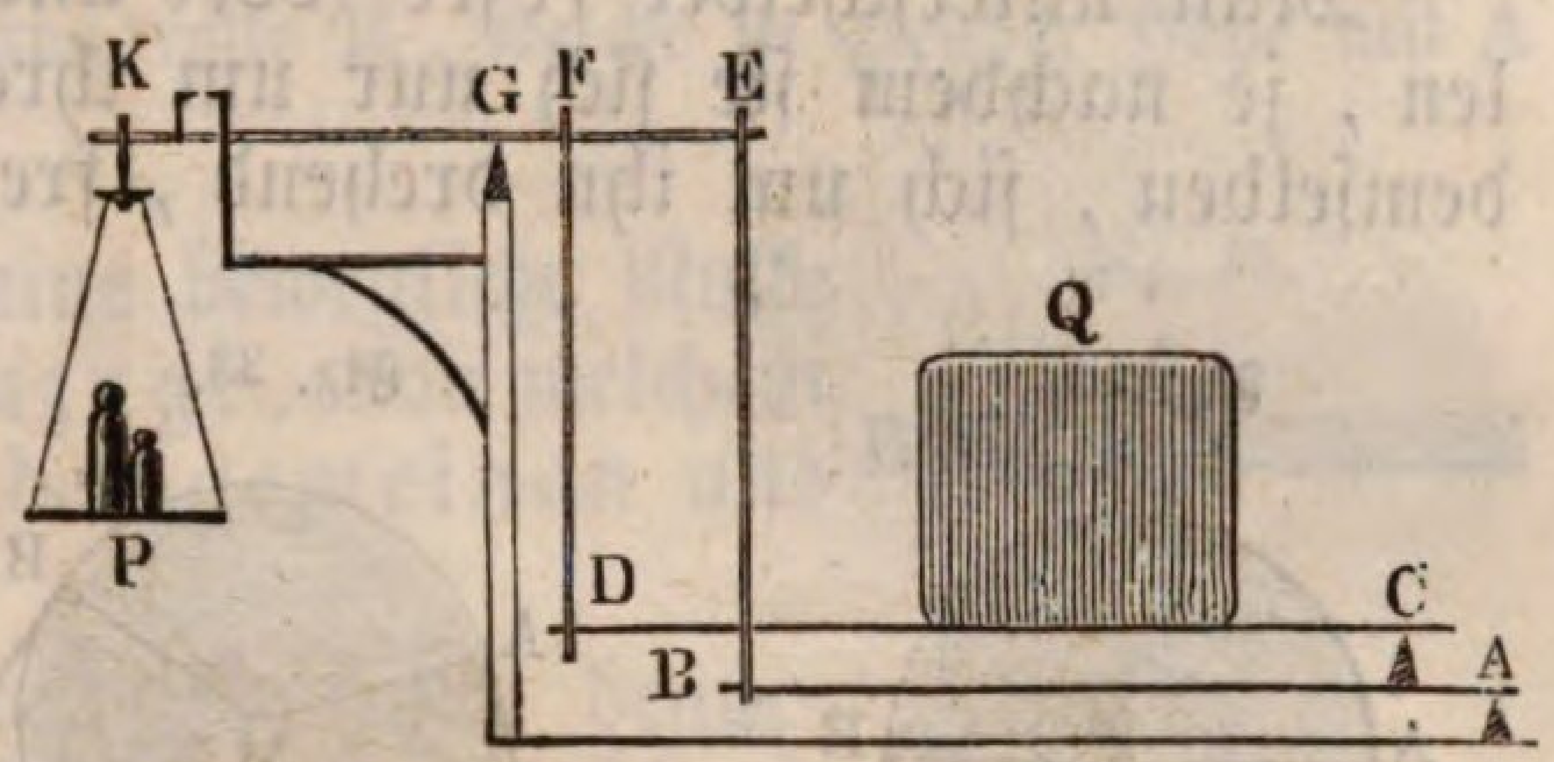


Die Schnellwage, ein ungleicharmiger zweiarmiger Hebel, wird in die römische (Fig. 29) und schwedische unterschieden. Die erstere heißt mathematisch, wenn sie völlig unbelastet sich horizontal ins Gleichgewicht setzt.

Dann wird ein am längeren Hebelarm verschiebbares, bei a aufgehängtes Laufergewicht P der am kürzeren Hebelarm b aufgehängten Last Q das Gleichgewicht

halten, sobald $P.a = Q.b$, folglich $Q = \frac{P.a}{b}$ ist. Um $\frac{a}{b}$ leicht und bequem zu ermitteln, ist der kürzere Hebelarm b auf dem längeren wiederholt aufgetragen.

Fig. 30.

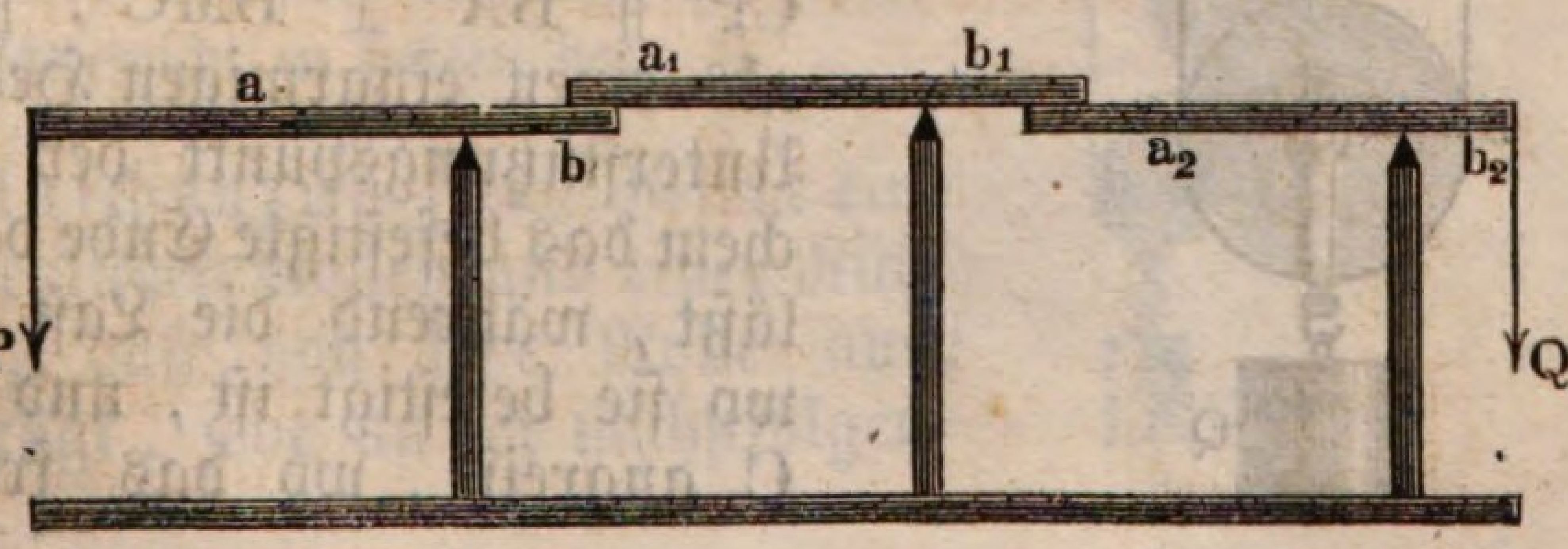


Die **Brückenwage** ist eine Combination von zwei einarmigen Hebeln und einem zweiarmigen und besteht aus dem Hebel AB mit der auf ihm ruhenden Brücke CD (Fig. 30), deren Enden B und D die senkrecht aufwärts gehenden Stangen BE und DF in dem kürzeren Hebelarm GE des doppelarmigen Hebels KGE angehängt sind. Ist nun $\frac{GE}{GF} = \frac{AB}{AC} = n$ und die Wage unbelastet so im Gleichgewicht, daß KGE horizontal schwebt: so vertheilt sich die auf die Brücke DC gelegte Last Q in ihrem Drucke auf D und C und wirkt so, als griffe sie unmittelbar den Hebelarm GE in F an. Denn: ist der in C auf AB drückende Theil R, so wirkt er so wie $\frac{R}{n}$ in B auf E; $\frac{R}{n}$ in E auf GE wirkend ist aber äquivalent mit $\frac{n.R}{n}$, d. i. R in F; der andere Theil $Q - R$ wirkt in D unmittelbar auf Punkt F des Armes GF. Wenn nun (wie gewöhnlich) $KG = 10.GF$ ist, so wird ein Gewicht P einer Last $Q = 10P$ das Gleichgewicht halten.

Zu genauen Messungen ist die Brückenwage eben so wenig als die Schnellwage geeignet; aber sie giebt Ersparniß an Gewichten und ist handfester und bequemer aufzustellen und zu belasten.

Durch ein System von ungleicharmigen Hebeln kann man die Kraftersparniß erheblich steigern, wenn die Kraft P (Fig. 31) am längeren Arm des 1sten Hebels und die Last Q am kürzeren Arm des letzten wirkt, und immer der kürzere Arm des früheren Hebels in den längeren Arm des folgenden eingreift. Aus der Figur ist sofort ersichtlich, daß P der Last Q dann das Gleichgewicht hält, wenn $P = \frac{b.b_1.b_2.Q}{a.a_1.a_2}$ ist.

Fig. 31.



B. Die Rolle.

§ 46. Die Rolle ist eine kreisförmige, an der Peripherie so ausgehöhlte Scheibe, daß man in die Rinne ein Seil, eine Kette oder dergl. legen kann.

Man unterscheidet feste (oder unbewegliche) und bewegliche Rollen, je nachdem sie sich nur um ihren (festen) Mittelpunkt oder mit demselben, sich um ihn drehend, frei bewegen können.

Fig. 32.

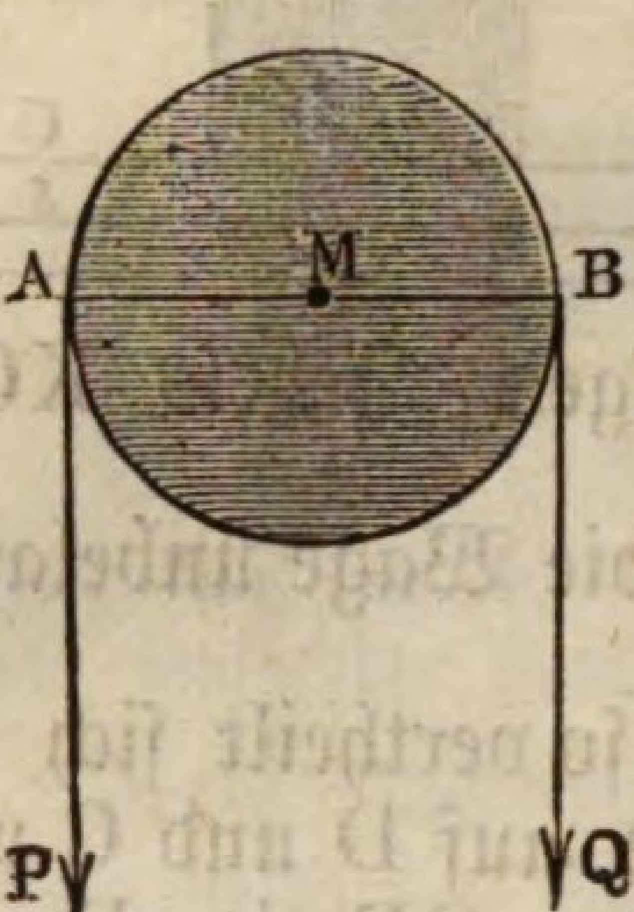
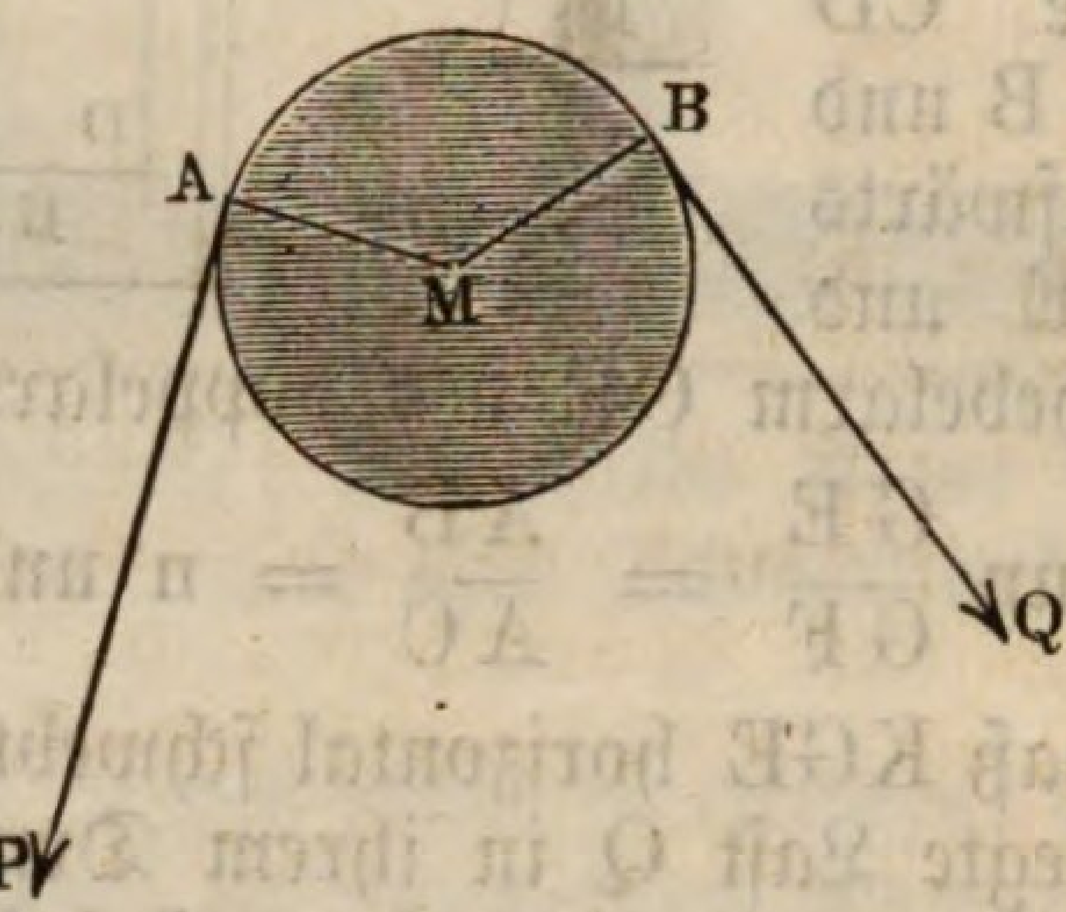


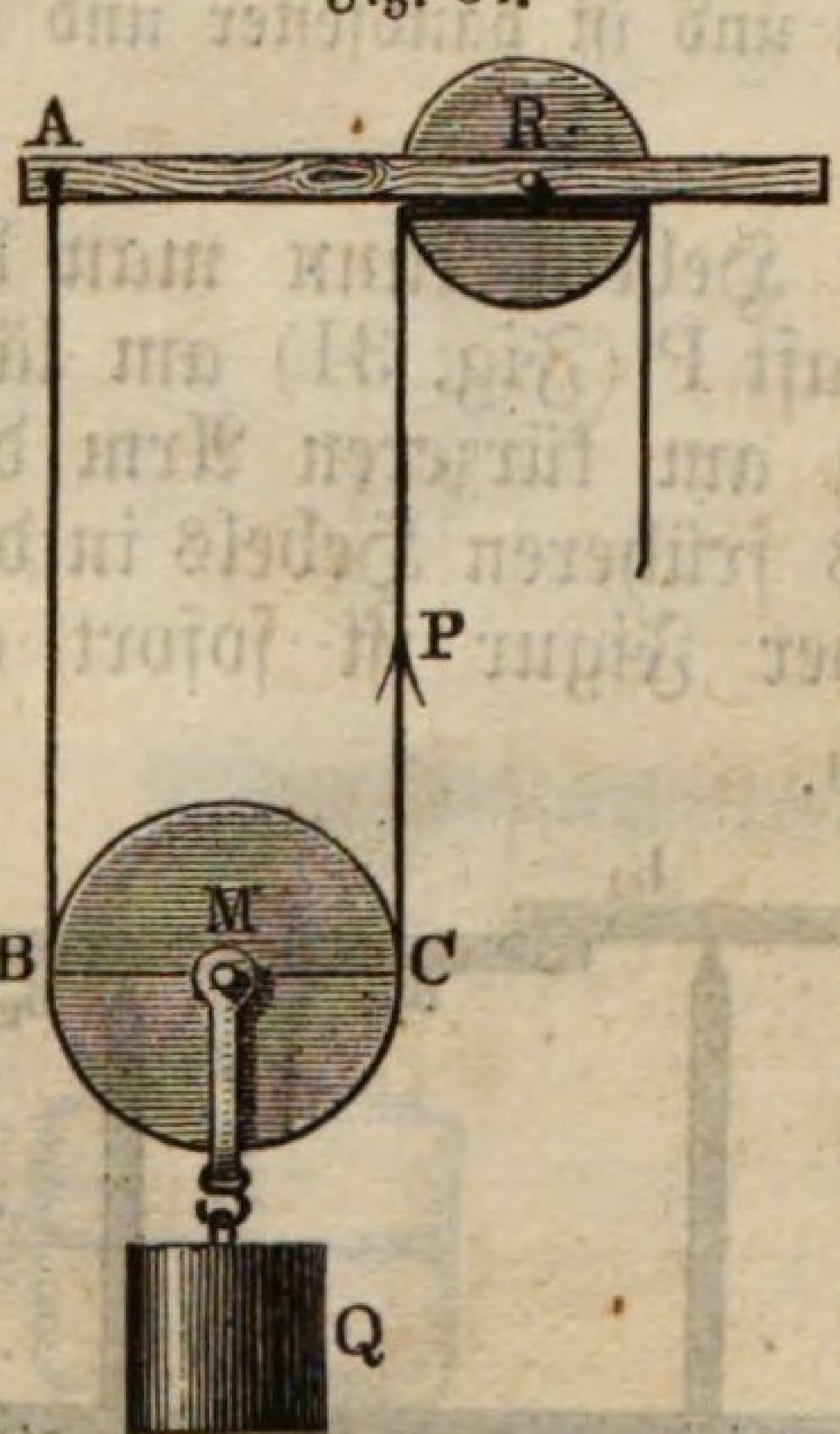
Fig. 33.



Bei der festen (fixen) Rolle wirken Kraft und Last an den beiden Enden des um die Rolle gelegten Seiles. Sind sie beide vertical abwärts gerichtet (Fig. 32), so ist die Rolle als ein gleicharmiger doppelarmiger Hebel anzusehen, dessen Unterstützungspunkt M (eine durch ihn senkrecht auf die Scheibe gesteckte Axe) ist, und dessen Angriffspunkte A und B die Endpunkte des horizontalen Durchmessers sind. Wirken Kraft und Last in beliebiger Richtung (Fig. 33), so ist die Rolle ein gleicharmiger Winkelhebel, dessen Angriffspunkte ebenfalls die Punkte A und B, nämlich die Punkte sind, in welchen die Schnur die Rolle verläßt. In beiden Fällen besteht nur dann Gleichgewicht, wenn $P = Q$ ist.

Die feste Rolle dient also nicht dazu, irgend einen mechanischen Vortheil zu gewähren, sondern nur dazu, die Richtung der Kräfte nach Bedürfniß zu ändern; sie heißt deshalb zweckmäßig eine Richtungsrolle.

Fig. 34.



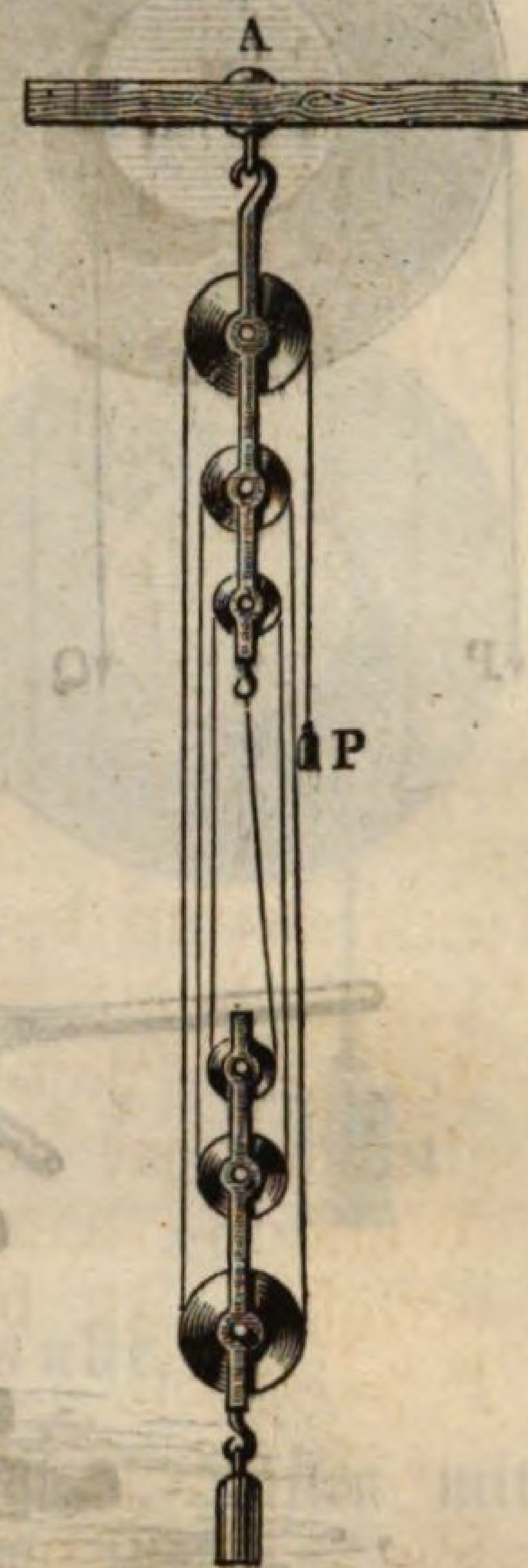
Die bewegliche Rolle, zur Hebung von Lasten dienend, hängt in dem um sie geschlungenen Seile, dessen ein Ende A (Fig. 34) an dem Punkt A befestigt ist, nach welchem die Last Q gehoben werden soll, während die Kraft P an dem andern Ende des Seiles wirkt. Ist die Kraft P vertical aufwärts gerichtet, also $CP \parallel BA \perp BMC$, so hat man die Rolle als einen einarmigen Hebel aufzufassen, dessen Unterstützungspunkt der Punkt B ist, in welchem das befestigte Ende der Schnur die Rolle verläßt, während die Last Q im Mittelpunkt M, wo sie befestigt ist, und die Kraft P in Punkt C angreift, wo das freie Ende der Schnur

die Rolle verläßt. Man hat also eine Kraftersparniß im Verhältniß von 1 : 2.

Dieß ergiebt sich auch aus dem mechanischen Nachtheil; denn soll die Last Q, also M und B um die Linie a gehoben werden, so muß sich offenbar ein Stück Schnur = 2a abwickeln, die Kraft P also den Weg 2a zurücklegen.

Zu bequemerem Gebrauch schlingt man das freie Ende des Seils, an welchem die Kraft wirkt, um eine Richtungsrolle R, welche in gleicher Höhe mit A befestigt ist.

Fig. 35.

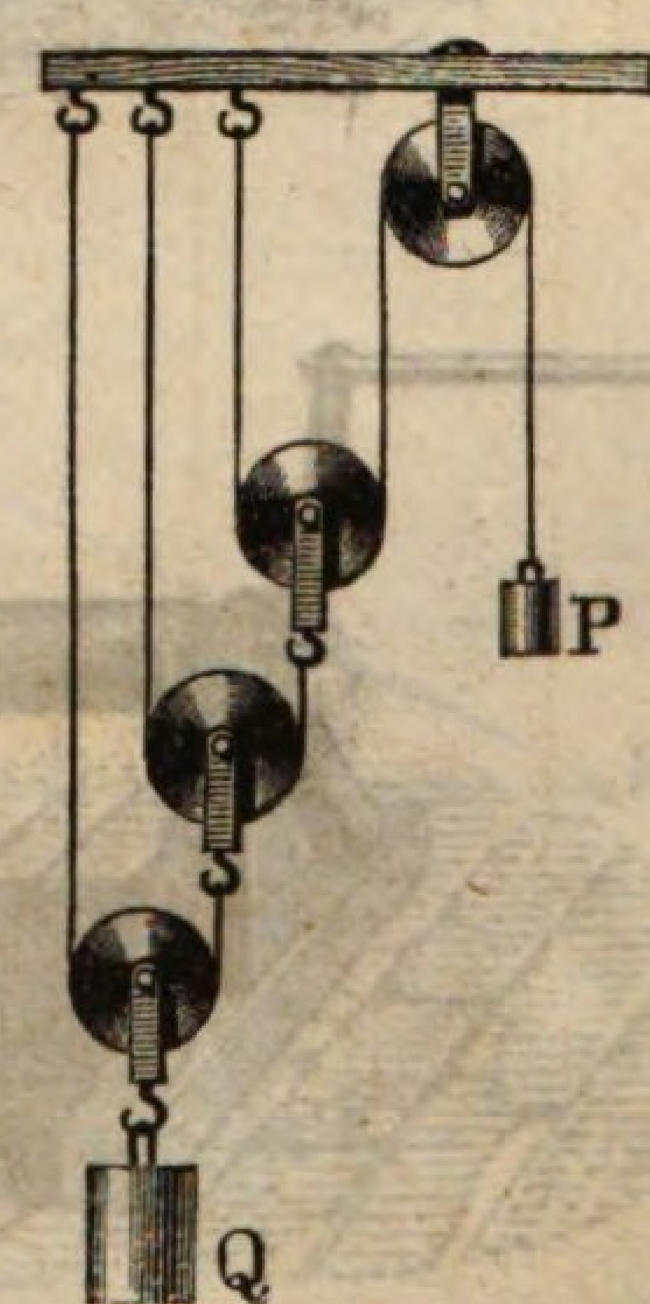


Die Kraftersparniß, welche eine bewegliche Rolle liefert, steigert sich im Flaschenzuge, von welchem man zwei Arten unterscheidet, den gemeinen und den Potenz-Flaschenzug.

Der erstere (Fig. 35), für den Gebrauch bequemer, besteht aus zwei Kloben (Gehäusen, Flaschen), von denen der eine Richtungsrollen enthält und an dem Punkt A befestigt ist, nach welchem die Last gehoben werden soll, während der andere, an welchem die Last angehängt ist, eben so viel bewegliche Rollen enthält. Verbunden sind sie mit einander durch eine Schnur, deren Gang aus der Figur erhellt. Im Zustand des Gleichgewichts hat man eine Kraftersparniß im Verhältniß von 1 zur doppelten Anzahl der beweglichen Rollen oder, was dasselbe und leichter zu erweisen ist, im Verhältniß von 1 zur Anzahl der Schnurtheile, welche die beiden Kloben mit einander verbinden.

Das Letztere ergiebt sich nämlich sehr leicht aus dem mechanischen Nachtheil, d. h. auf dem Wege 2na, welchen die Kraft bei n beweglichen Rollen zurücklegen muß, damit die Last um die Linie a gehoben werde.

Fig. 36.



Zweiter Beweis. Soll die Last Q im Gleichgewicht erhalten werden, so müssen alle verbindenden Schnurtheile gleich gespannt sein; die Last vertheilt sich also auf sie alle gleichmäßig so, daß jeder bei n beweglichen Rollen nur $\frac{Q}{2n}$ zu tragen hat. Dieß gilt auch von dem letzten, welchem die an der obersten Richtungsrolle wirkende Kraft P das Gleichgewicht zu halten hat.

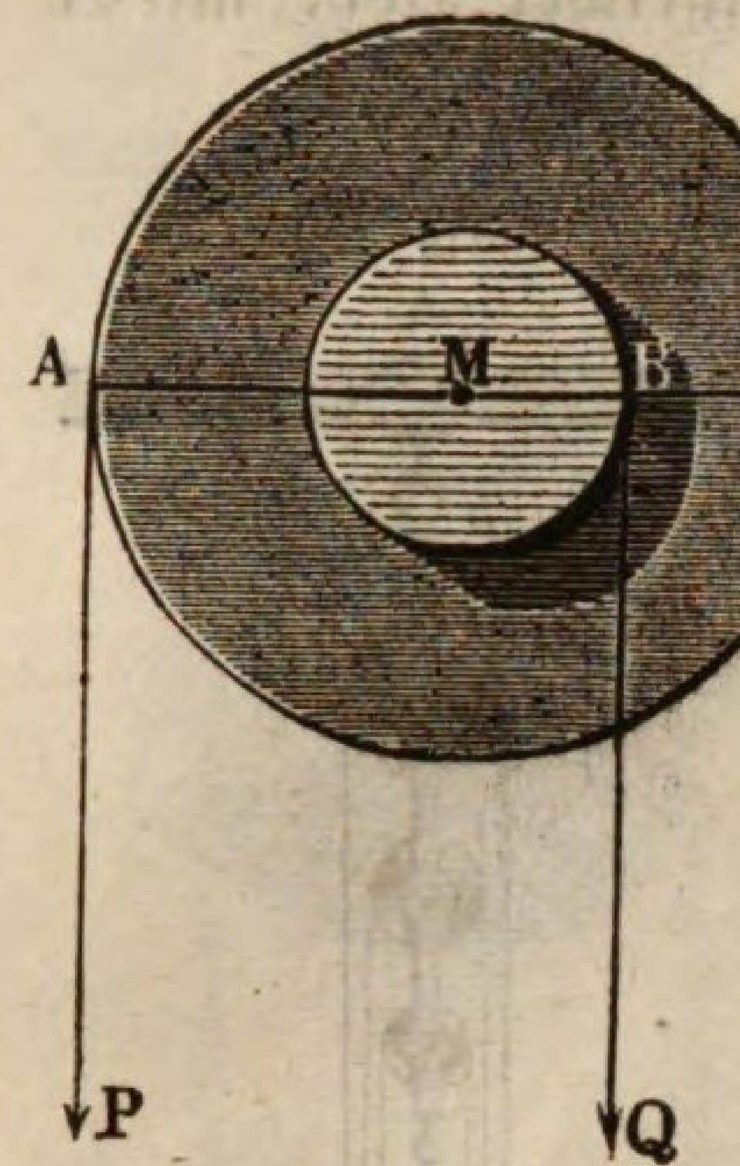
Ein Potenz-Flaschenzug (Fig. 36) ist eine Verbindung von beweglichen Rollen und einer Richtungsrolle der Art, daß von der Rolle aus, welche die Last Q trägt, jede an der nächstfolgen-

den, wie die Figur zeigt, als Last angehängt ist. Bei n beweglichen Rollen hat man, wie leicht zu zeigen, eine Kraftersparniß von $1 : 2^n$.

Wegen der unbequemen Befestigung der Seile ist der Potenz-Flaschenzug wenig in Gebrauch.

C. Das Rad an der Welle.

Fig. 37.



§ 47. Das Rad an der Welle ist eigentlich keine einfache Maschine, sondern nur eine feste Verbindung zweier concentrischen Richtungsrollen (Fig. 37), von denen die größere das Rad, die kleinere, in einen Cylinder ausgedehnte, die Welle heißt. Wirkt die Kraft P an der Peripherie des Rades, die Last Q an der der Welle, so hat man offenbar (nach § 44) eine Kraftersparniß im Verhältniß der beiden Radien.

Das Rad an der Welle führt auch die Namen Haspel, Göpel, Winde (Fig. 38).

Je nachdem die Kraft bei der Haspel an einem Rade, oder an Kreuzstangen, oder an einer

Fig. 38.

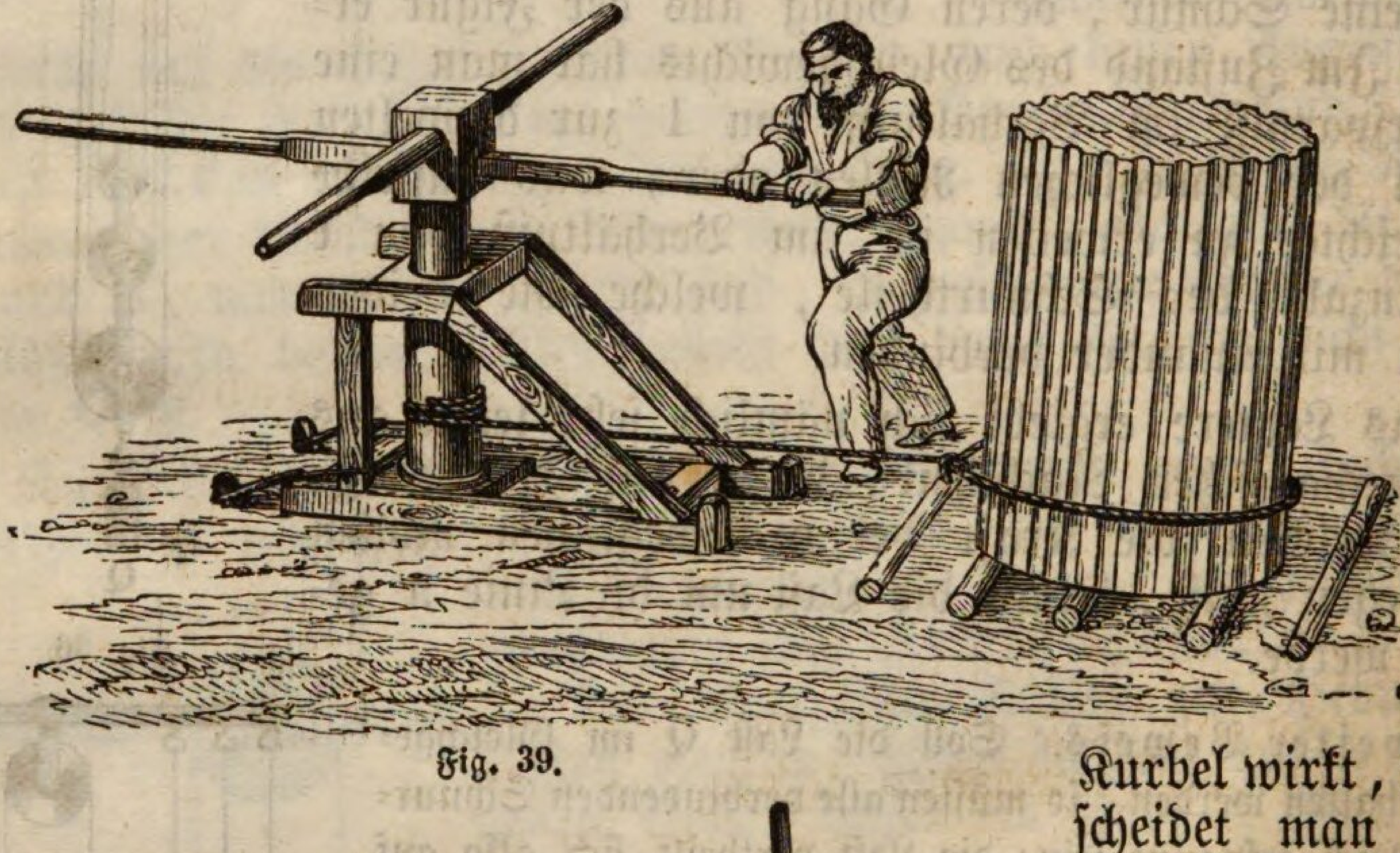
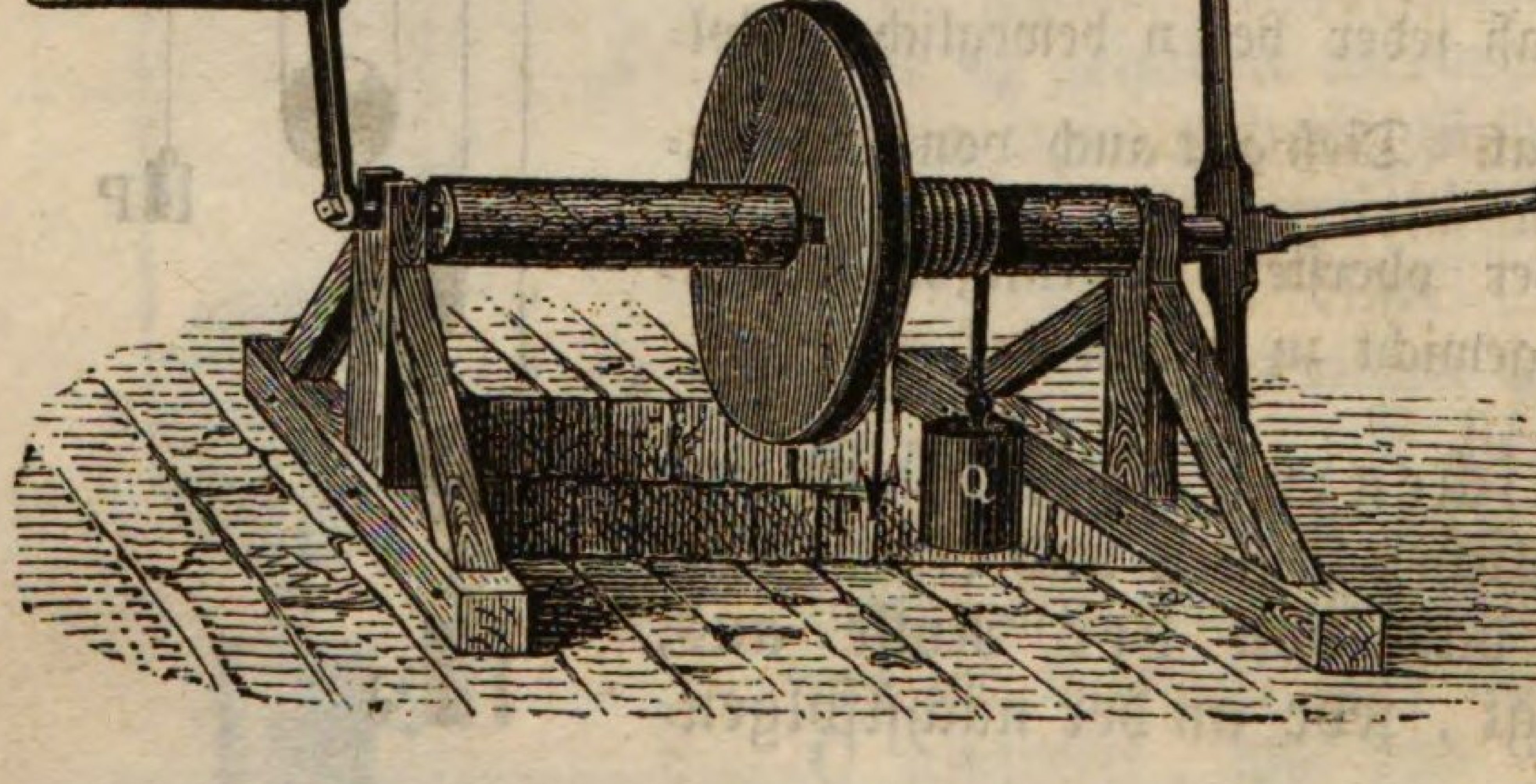


Fig. 39.



Kurbel wirkt, unterscheidet man Radhaspel, Kreuzhaspel, Hornhaspel.

Fig. 39 stellt sie sämmtlich dar. Eine Verbindung von Rädern an der Welle heißt ein Räderwerk.

Die Verbindung geschieht entweder

durch eine Schnur ohne Ende, welche um das Rad des einen „Rades an der Welle" und um die Welle des andern, an beiden fest anliegend, geschlungen wird und wie in Fig. 40 a und b gespannt sein muß, damit die Reibung der Schnur an der Peripherie, welche hier, wie bei allen Rollen, die Bewegung von der Schnur auf die Rolle überträgt, möglichst groß sei (offene und gekreuzte Schnur),

Fig. 40a.

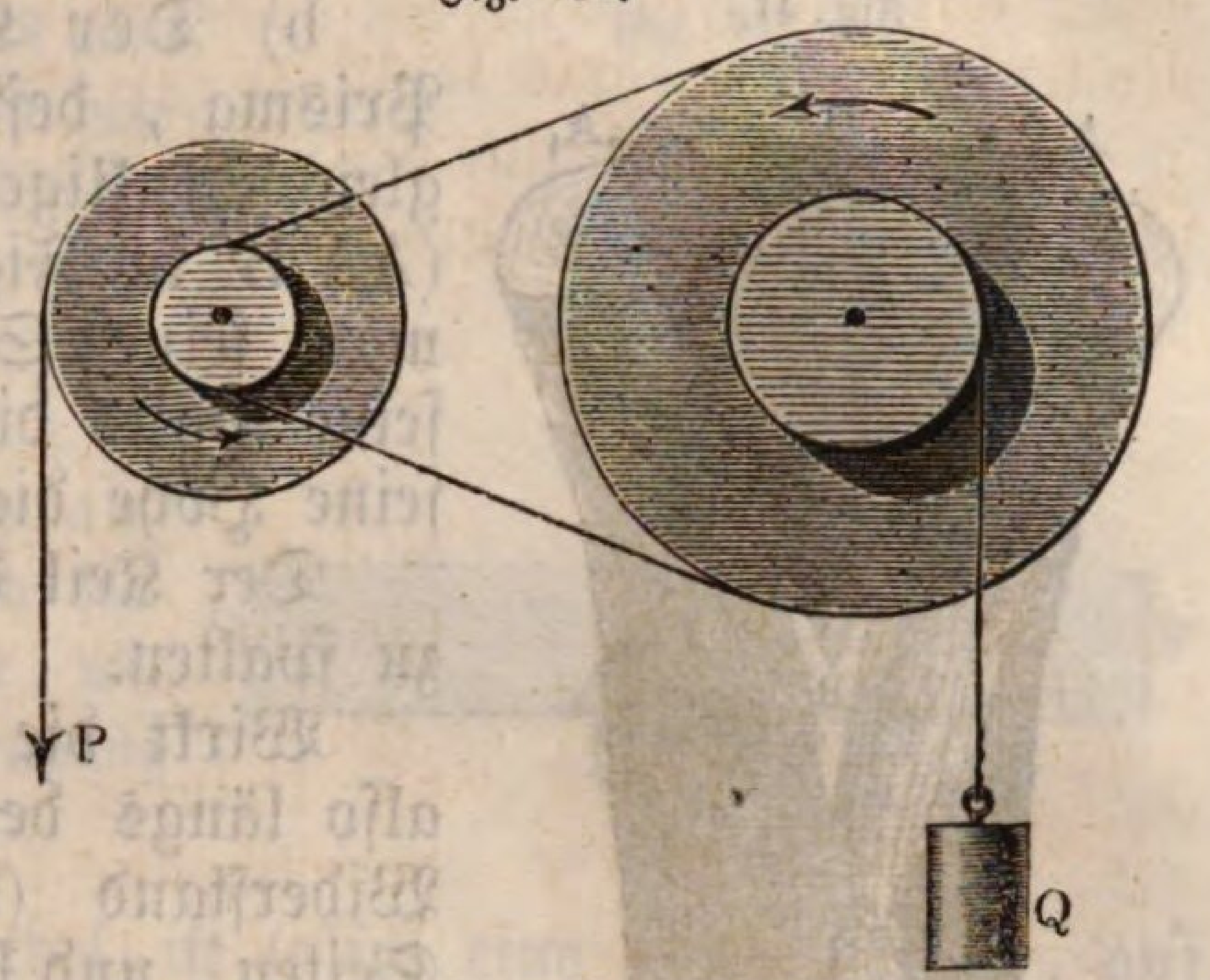
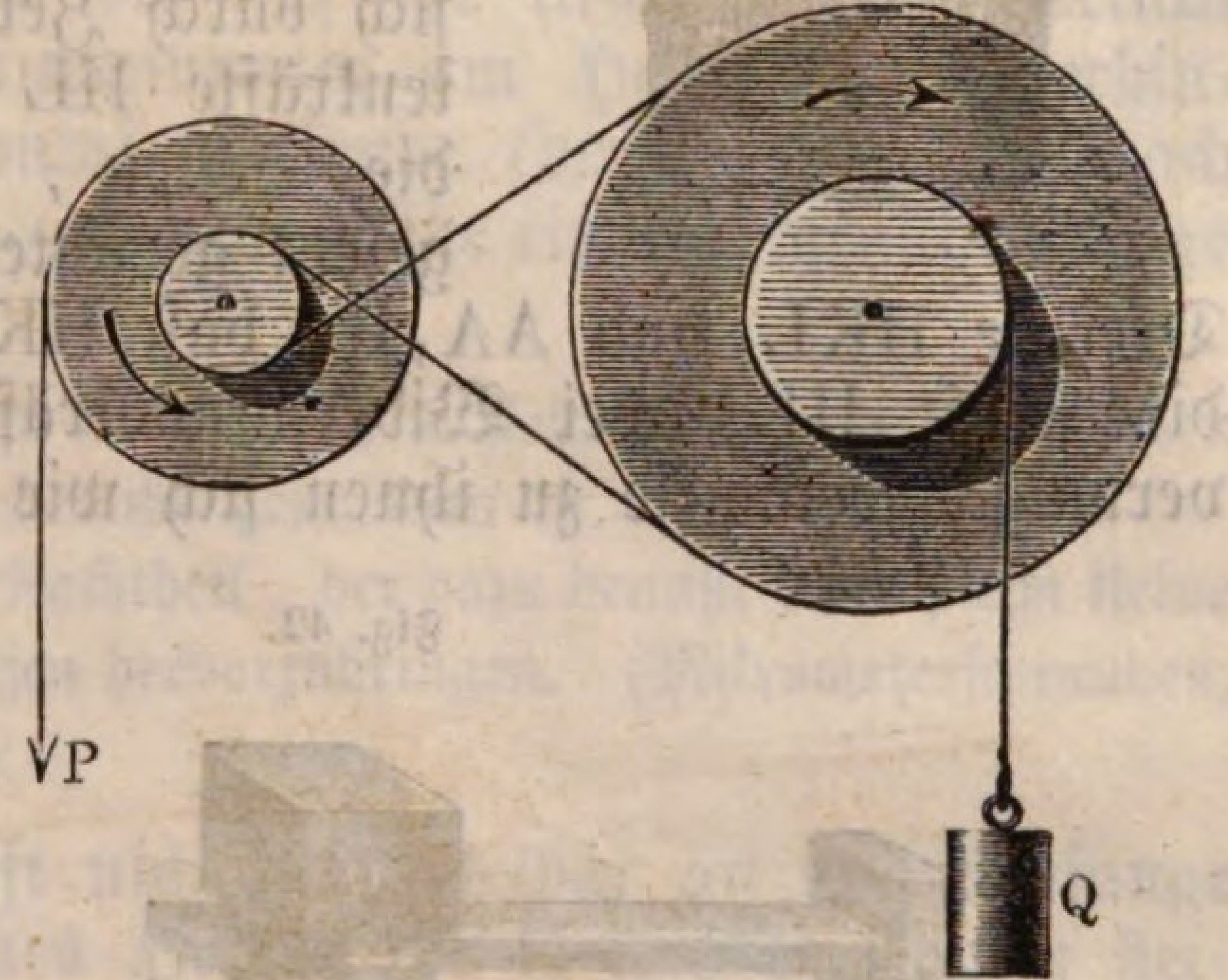


Fig. 40 b.



oder durch „Zähne" welche in einander eingreifen. In diesem Falle nennt man die Welle in der Regel das Getriebe und seine Zähne die Triebstöcke.

(Kronräder oder Kammräder; Sternräder oder Stirnräder. Konische Räder. Gezahnte Stangen.)

D. Schiefe Ebene, Keil und Schraube.

§ 48. a) Die schiefe Ebene (§ 23) dient dazu, Lasten mit Kraftersparniß zu heben oder langsam herabgleiten zu lassen.

Soll eine in D (Fig. 5) befindliche Last Q auf der schiefen Ebene ruhend erhalten werden, so muß die Kraft P der respectiven Kraft $\left(\frac{Q \cdot h}{l}\right)$ das Gleichgewicht halten. Dieß geschieht, wenn die Kraft P längs der Länge der schiefen Ebene BC aufwärts, also in der Richtung GD wirkt, dann, wenn $P = \frac{Qh}{l}$ ist. Wirkt die Kraft horizontal, also ∥ BA, so ergiebt sich (nach § 20) durch Zerlegung eine Kraftersparniß im Verhältniß der Höhe zur Basis.

Fig. 5.

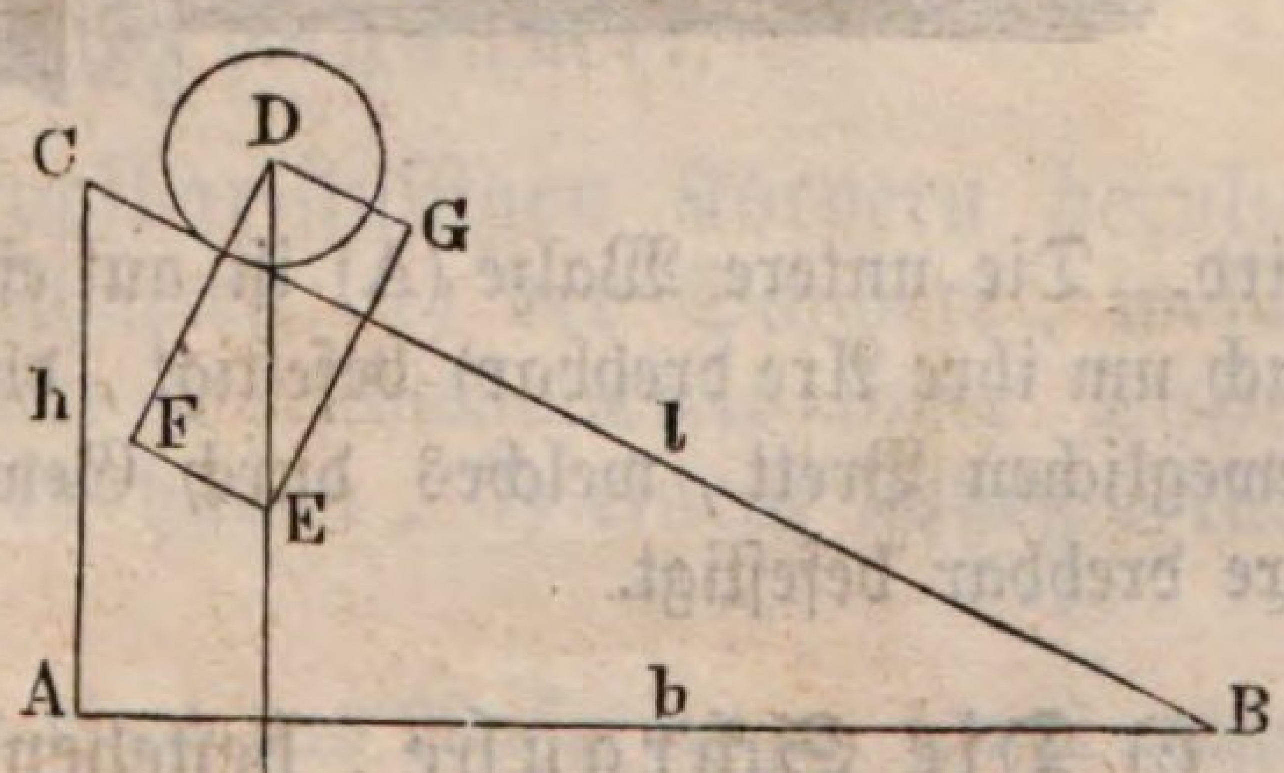
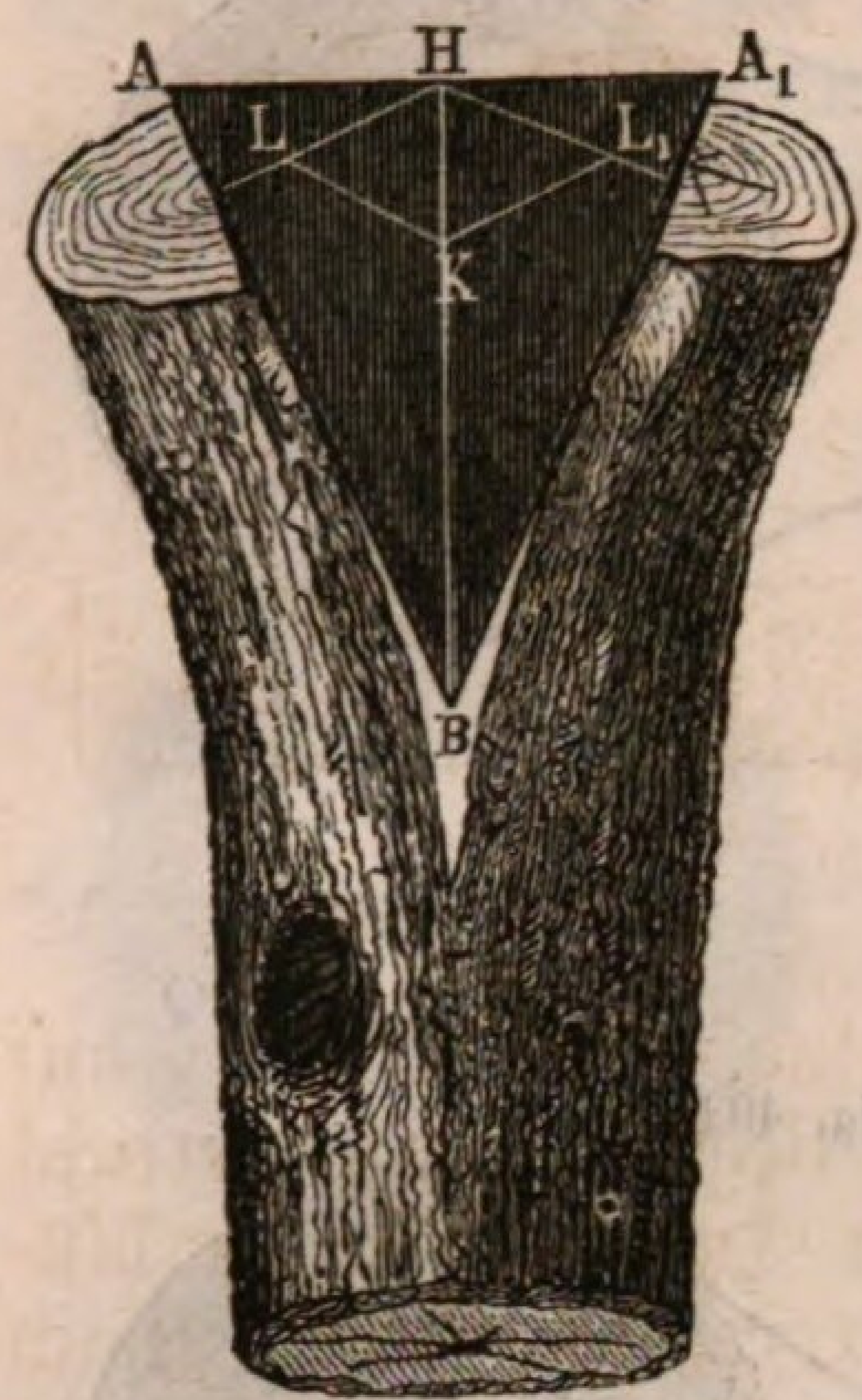


Fig. 41.

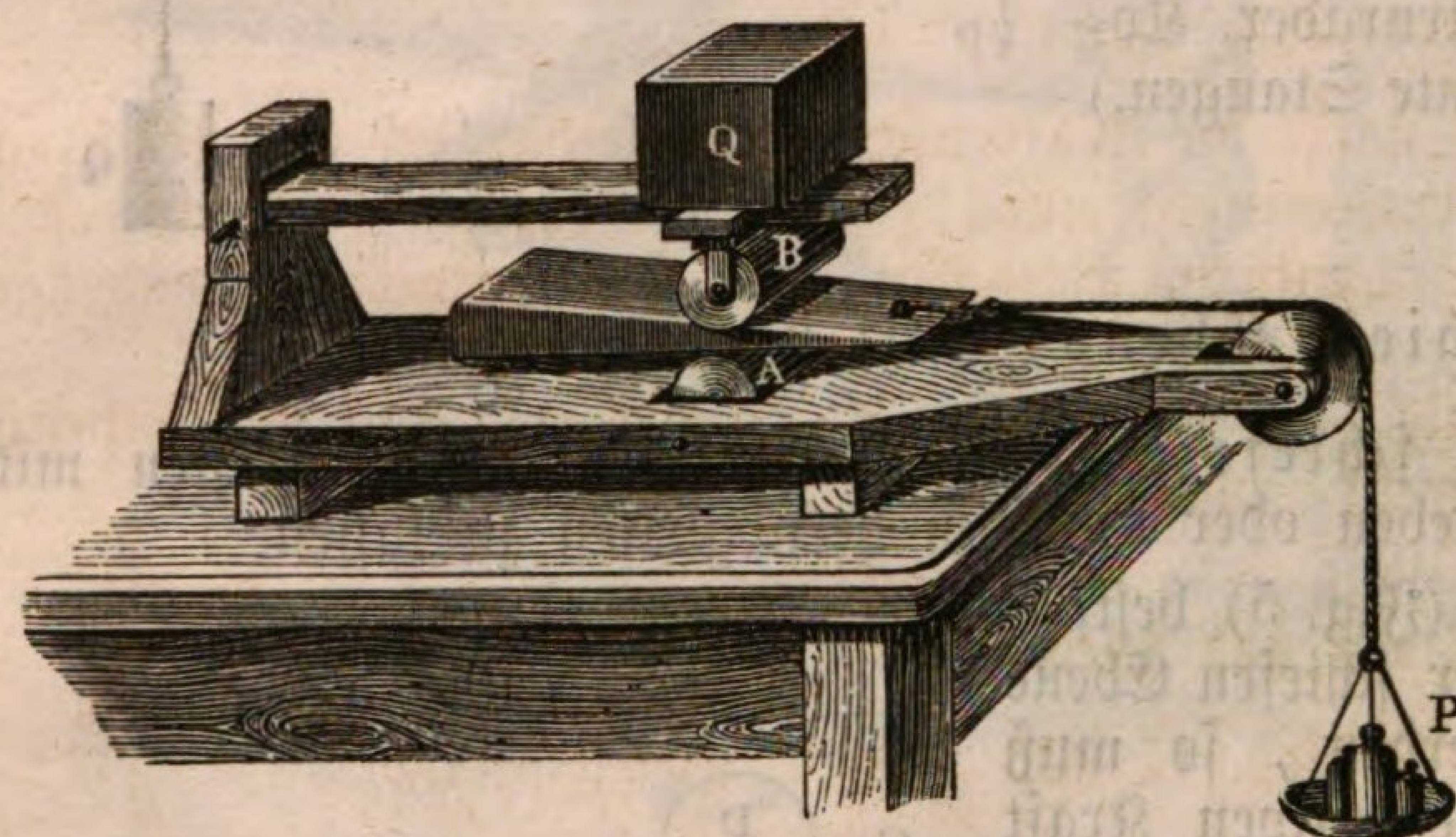


b) Der Keil ist ein gerades dreiseitiges Prisma, dessen Grundflächen in der Regel gleichschenklige Dreiecke sind. Stellt ein solches (AA_1B in Fig. 41) den Keil dar, so nennt man seine Schenkel die Seiten des Keils, seine Basis die Breite oder den Rücken und seine Höhe die Länge des Keils.

Der Keil dient vorzugsweise dazu, Körper zu spalten.

Wirkt die Kraft senkrecht auf den Rücken, also längs der Länge HB, der zu besiegende Widerstand (die Cohäsion) senkrecht auf die Seiten, und bedeutet HK die Kraft, so ergiebt sich durch Zerlegung der HK in die zwei Seitenkräfte HL und HL_1, welche senkrecht auf die Seiten, also dem Widerstande entgegengesetzt gerichtet sind, aus der Aehnlichkeit der Dreiecke HKL und AA_1B, daß $HK : HL = AA_1 : AB$; daß also die Kraft HK zwei Widerstandskräften das Gleichgewicht zu halten vermag, wenn sie zu ihnen sich wie der Rücken zur Seite verhält.

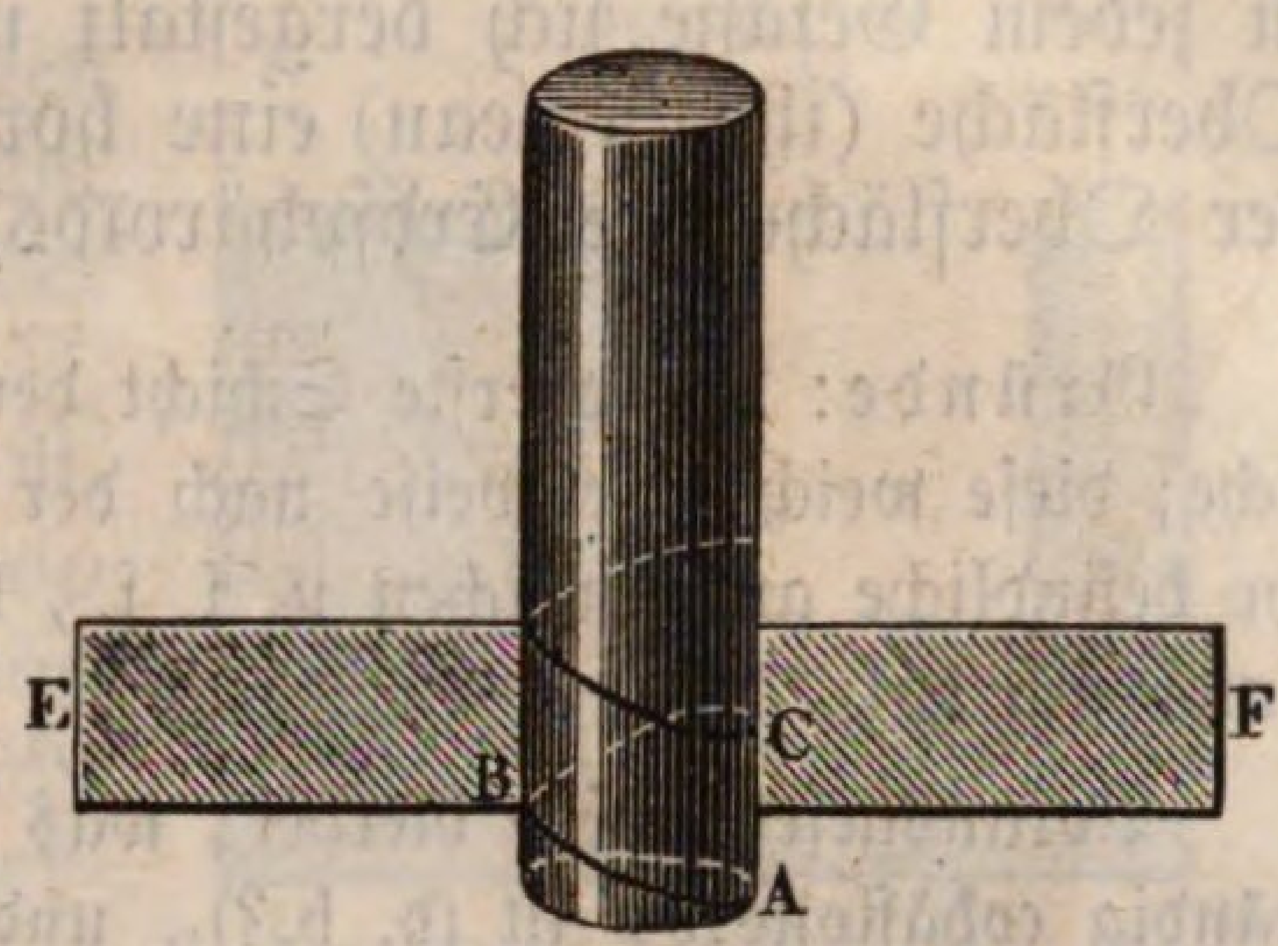
Fig. 42.



Der Nachweis dieses Gesetzes an einem Apparat ist wegen der sehr bedeutenden Reibung schwierig. Am meisten eignet sich dazu eine Vorrichtung (Fig. 42), in welcher ein Keil durch das Gewicht P zwischen 2 über einander horizontal liegenden Walzen A und B hindurchgezogen wird. Die untere Walze (A) ist auf einem festliegenden Brette (unbeweglich, oder auch um ihre Axe drehbar) befestigt, die obere (B) an einem durch ein Scharnier C beweglichen Brett, welches durch Gewichte Q beschwert werden kann, um ihre Axe drehbar befestigt.

c) Die Schraube, bestehend aus der Schraubenspindel und der Schraubenmutter, dient zum Heben und Pressen der Körper. Die Schraubenspindel ist ein massiver gerader Cylinder, an dessen Mantel eine hervorragende Schraubenlinie sich befindet, und die Schraubenmutter ein gerader Hohlcylinder von demselben Radius, in welchem eine entsprechende Schraubenlinie eingeschnitten ist.

Fig. 43.



Eine Schraubenlinie erhält man, wenn man ein rechtwinkliges Dreieck, dessen eine Kathete gleich dem Umfang eines geraden Cylinders ist, so um denselben herumlegt, daß jene Kathete die Peripherie des Grundkreises vollständig bedeckt; die Hypotenuse ABC (Fig. 43) des Dreiecks bildet alsdann einen Schraubengang, dessen Höhe AC die zweite Kathete ist. In derselben Weise beginnt, wie vorher in A, ein zweiter Schraubengang in C u. s. f.

Die Schraubenlinie der Spindel ist (also) eine schiefe Ebene, auf welcher die Schraubenmutter und die auf ihr liegende Last vertical abwärts drückt. Soll die Schraubenmutter am Herabgleiten verhindert werden, so muß eine horizontal wirkende (drehende) Kraft (nach § 18, a) sich zur Last verhalten, wie die Höhe eines Schraubengangs zur Peripherie des Grundkreises.

Die Kraftersparniß ist demnach um so größer, je kleiner die Höhe eines jeden Schraubengangs, je enger also die Schraube gewunden ist.

Eben so groß ist der mechanische Nachtheil, der dazu benutzt wird, um kleine genau meßbare Hebungen und Senkungen hervorzubringen. (Mikrometerschrauben, Stellschrauben. Schraube ohne Ende.)

In der Regel wirkt die Kraft nicht unmittelbar an dem Umfange der Spindel, sondern mittelst eines Hebels bei E und F, dann steigert sich die Kraftersparniß im Verhältniß der Hebelarme. (Preßbengel oder Schwengel.)

Es ist gleichgiltig, ob die Schraubenspindel fest und die Schraubenmutter beweglich ist, oder das Gegentheil stattfindet.

II. Statik und Mechanik der flüssigen Körper.

(Hydrostatik und Hydrodynamik.)

§ 49. Die Erscheinungen an tropfbar-flüssigen Körpern beruhen vornehmlich auf ihren drei Haupteigenschaften: 1) der Schwere, welche sie mit allen Körpern, 2) der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theile, welche sie mit den luftförmigen gemein haben, 3) einem hohen Grade von Unzusammendrückbarkeit.

Als Repräsentant der flüssigen Körper dient das Wasser wegen seiner großen Verbreitung, obwohl in ihm die Eigenschaft der Fluidität, wie man sich leicht überzeugt, in geringerem Grade vorhanden ist, als im Aether, Alkohol und tropfbar-flüssigen Schwefelwasserstoffgas.

Aus ihnen ergiebt sich zunächst, daß eine größere Menge Flüssigkeit auf einer horizontalen Ebene zerfließen, auf einer geneigten

Fläche herabfließen muß, bis sie die tiefste Stelle erreicht hat, und in jedem Gefäße sich dergestalt ins Gleichgewicht setzen muß, daß ihre Oberfläche (ihr Niveau) eine horizontale Ebene (eigentlich einen Theil der Oberfläche des Erdsphäroïds) bildet.

Gründe: Die oberste Schicht der Flüssigkeit drückt auf die darunter befindliche; diese weicht theilweise nach der Seite aus, theilweise zwingt sie die unter ihr befindliche auszuweichen u. s. f., bis endlich keine Schicht mehr eine andere unter sich hat.

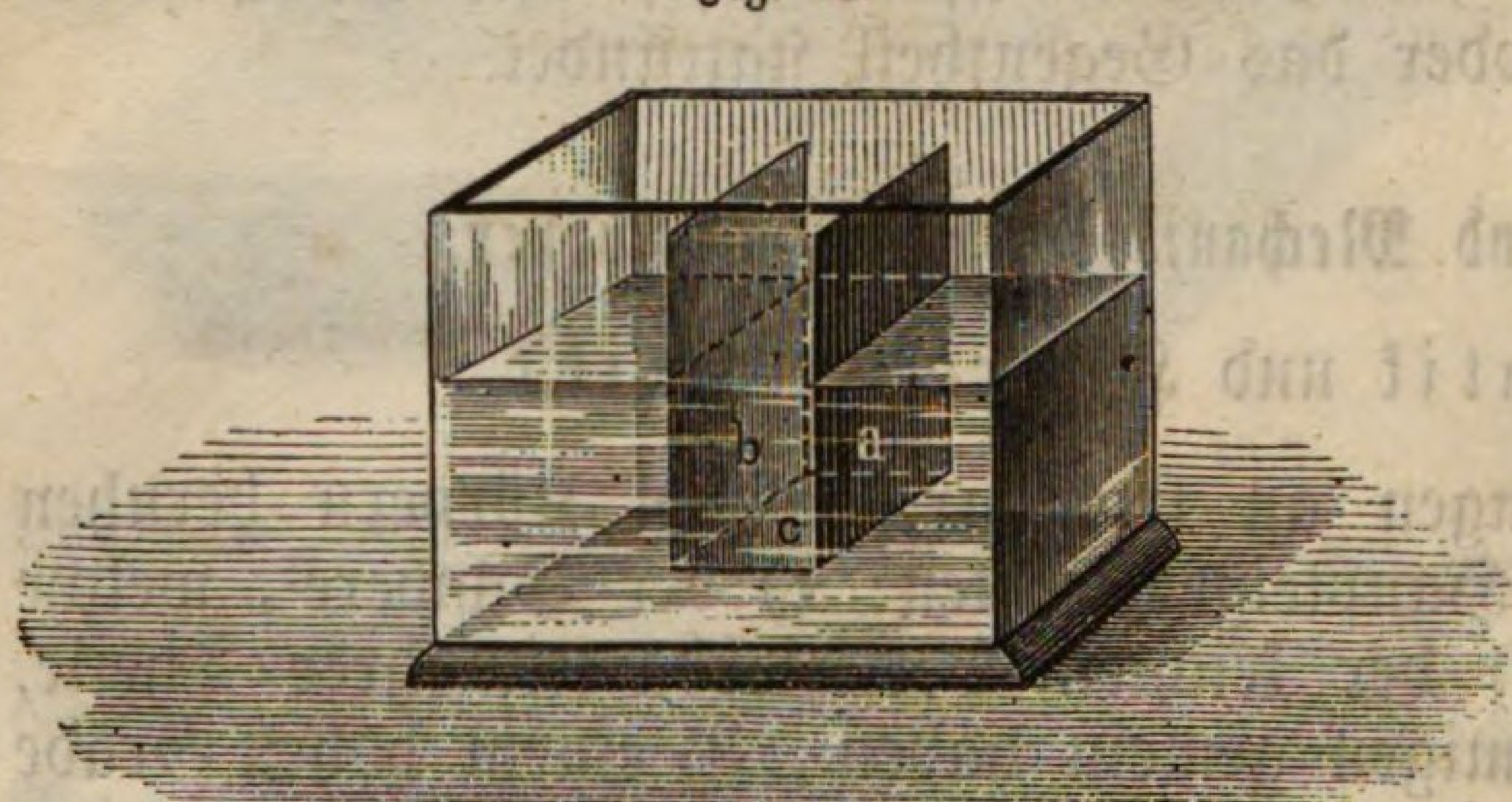
Vorausgesetzt wird hierbei, was nicht der Fall ist, daß die Flüssigkeit vollständig cohäsionslos ist (d, h.?), und daß die Flüssigkeit an dem Material der Ebene adhärirt; Nr. 2 ist selbstverständlich. — 3) Ist die Oberfläche der Flüssigkeit irgend wo nicht horizontal, so kann man die auf die obersten Theile wirkende Schwere in zwei Kräfte zerlegen, von denen die eine längs der Fläche abwärts wirkt und ein Herabfließen veranlaßt, bis alle (einander parallelen) Richtungen der Erdschwere auf der Oberfläche senkrecht sind. Während des Fließens ist die Oberfläche der Flüssigkeit natürlich eine geneigte Fläche.

Daß die Adhäsion oder Nichtadhäsion der Flüssigkeit an der Wand des Gefäßes das Niveau modificirt, ist schon in § 9 angedeutet worden.

§ 50. Ist eine Flüssigkeit in einem Gefäße eingeschlossen, so wird das Zerfließen durch die Festigkeit der widerstehenden Wände gehindert. Diese müssen also eben so, wie der Boden des Gefäßes, durch die Schwere der Flüssigkeit einen Druck erfahren; der zunächst abwärts gerichtete Druck pflanzt sich seitwärts fort.

(Bodendruck und Seitendruck.)

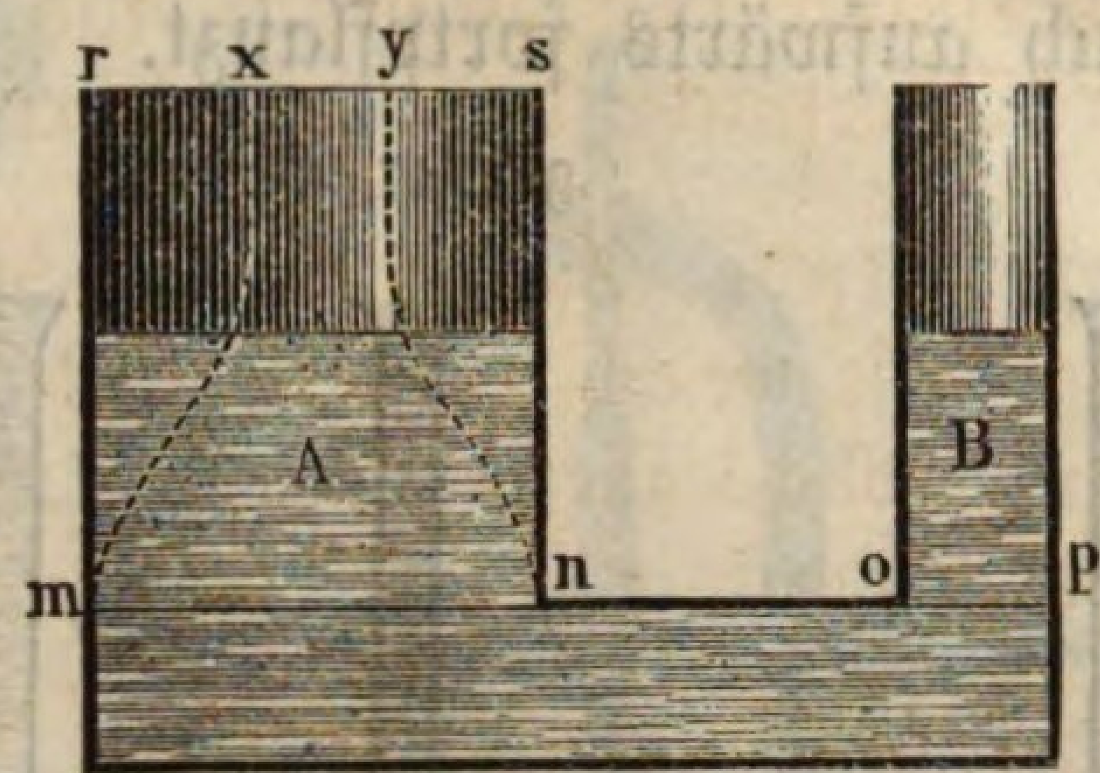
Fig. 44.



Denkt man sich nun in einer solchen im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit Wände a, b, c (Fig. 44) fest werdend, so daß sie einen Theil der Flüssigkeit absondern: so wird das Gleichgewicht offenbar nicht gestört, da die Festigkeit der entstehenden Wände dasselbe leistet, was der Druck der abgesonderten Flüssigkeit leistete. Nimmt man nun diese Flüssigkeit hinweg, so hat man zwei „communicirende Gefäße", in welchen also, wie man sieht, eine Flüssigkeit sich so ins Gleichgewicht setzt, daß beide Oberflächen eine horizontale Ebene bilden.

Man kann die vorerwähnte Thatsache auch so aussprechen:

Fig. 45.



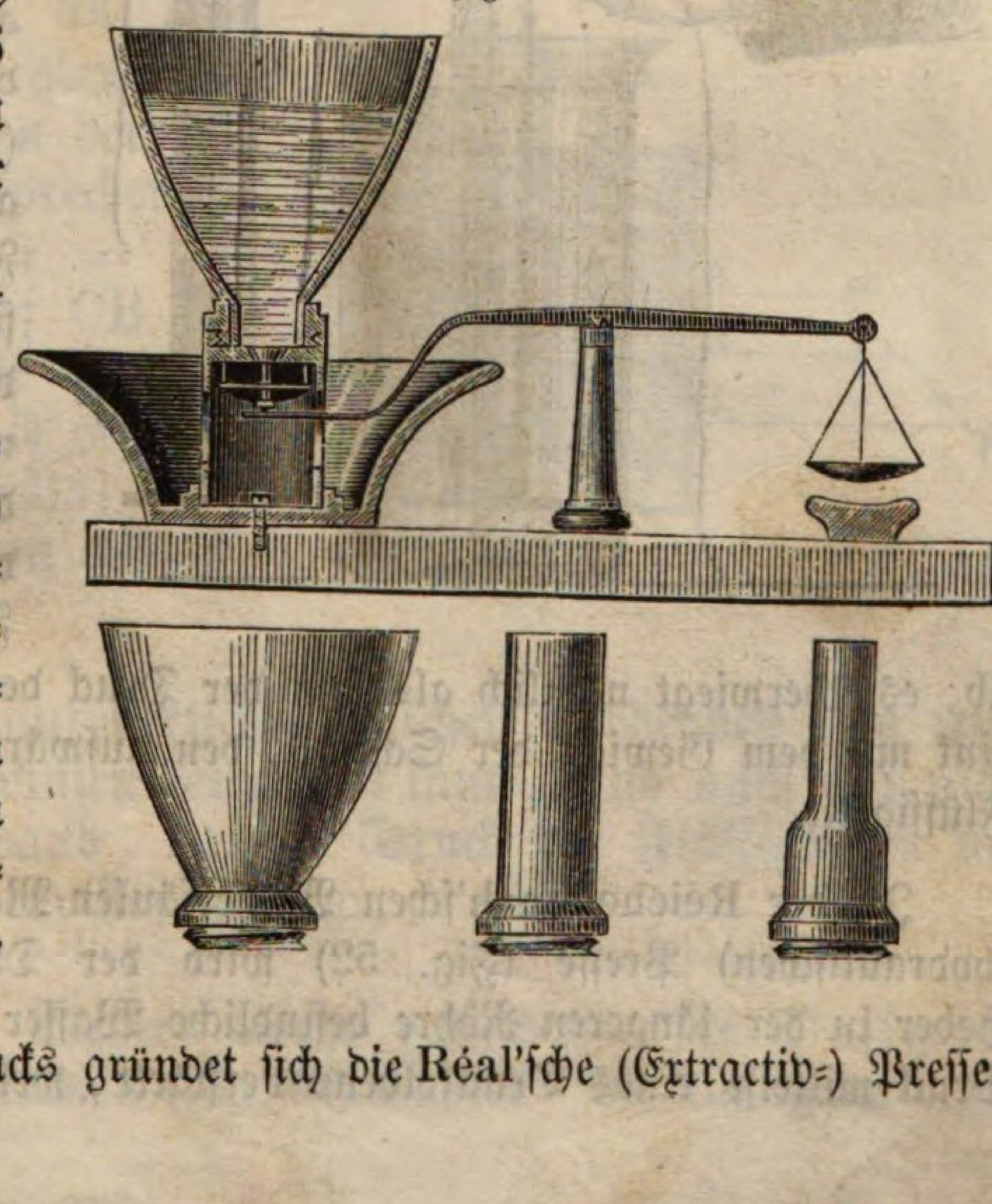
Ist eine Flüssigkeit in communicirenden Gefäßen (d. h. also?) im Gleichgewicht, so halten sich die beiden Druckkräfte der Flüssigkeitsmengen A und B (Fig. 45), wo sie sich auch begegnen, also z. B. auch in der horizontalen Ebene mnop das Gleichgewicht (denn die unter mnop befindliche Flüssigkeit ist für sich im Gleichgewicht.) Hat nun das Gefäß mnrs verticale Wände, so ist selbstverständlich, daß der Druck, den die Flüssigkeit A auf mn ausübt, gleich dem Gewicht von A ist. Treten an die Stelle der senkrechten Wände mr und ns die punktirten mx und ny (mit Ausscheidung der dadurch abgesonderten Flüssigkeit), so bleibt das Gleichgewicht ungestört, also auch der Druck der zwischen mx, mn und ny eingeschlossenen Flüssigkeit auf mn unverändert. Dasselbe findet statt, wenn man sich von m und n aus divergirende Wände entstehend denkt.

Der Bodendruck einer Flüssigkeit ist demnach stets gleich dem Gewicht einer Flüssigkeitssäule, deren Grundfläche der Boden, deren Höhe die Erhebung des Niveau's über den Boden ist — und von der Gestalt der Wände völlig unabhängig.

(Das hydrostatische Paradoxon.)

Nachweisen läßt sich das Gesetz an dem in Fig. 46 abgebildeten Apparate, dessen Construction aus der Figur leicht erhellt.

Fig. 46.



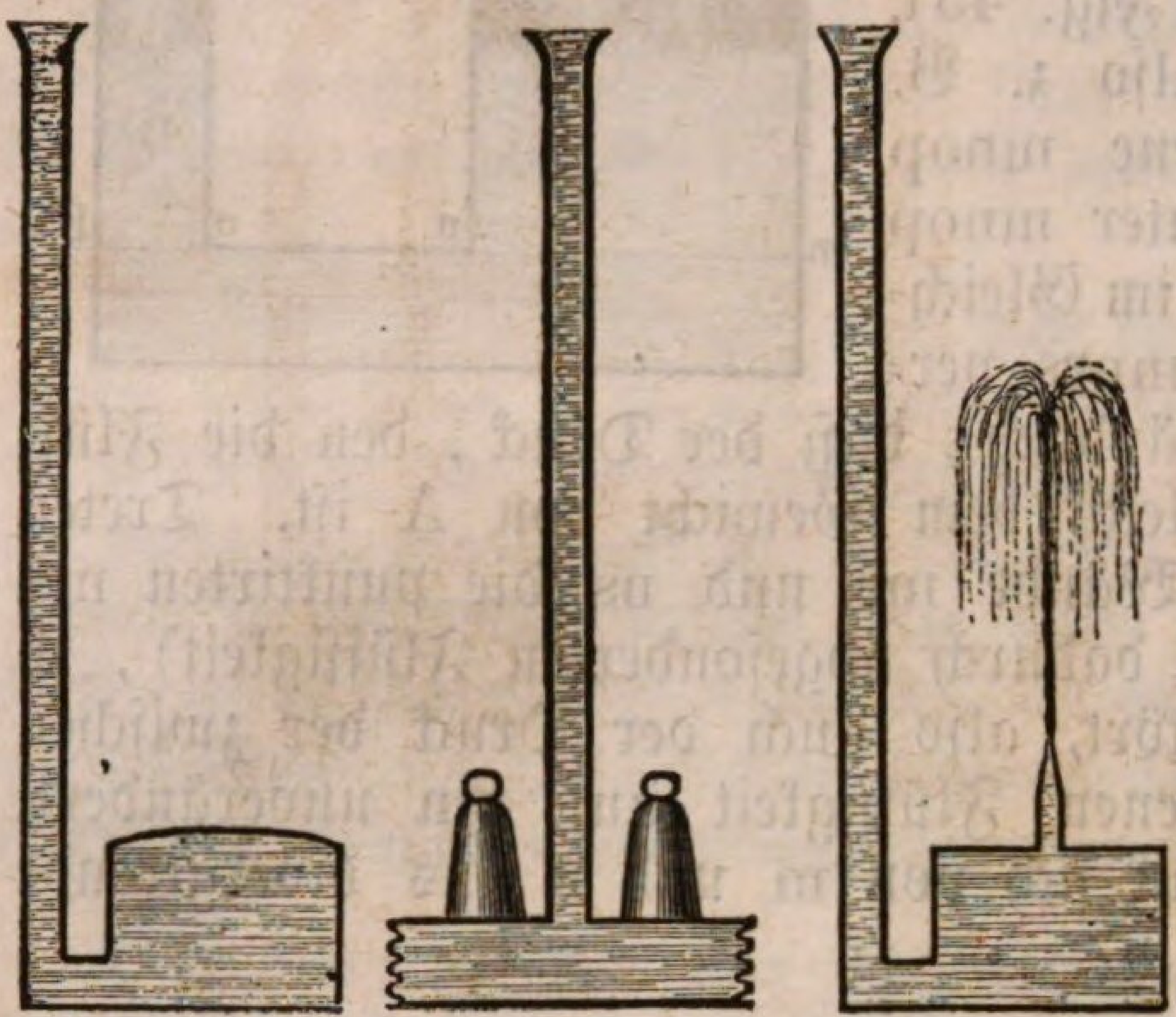
Ihm ähnlich ist der Haldat'sche Apparat.

Auf dem Gesetz der communicirenden Röhren (oder Gefäße) beruht die Anlegung von Standmessern, Wasserleitungen, Artesischen Brunnen und vieler Springbrunnen, das Erscheinen von Grundwasser in der Nähe von Flüssen und Teichen, die Einrichtung der Canalwage (Wasserwage), der Lampen u. s. w.

Auf die Größe des Bodendrucks gründet sich die Réal'sche (Extractiv-) Presse.

§ 51. Aus der vorangehenden Entwickelung folgt auch, daß der Druck der Flüssigkeiten A und B sich nicht blos seitwärts, sondern auch aufwärts fortpflanzt.

Fig. 47, 48, 49.

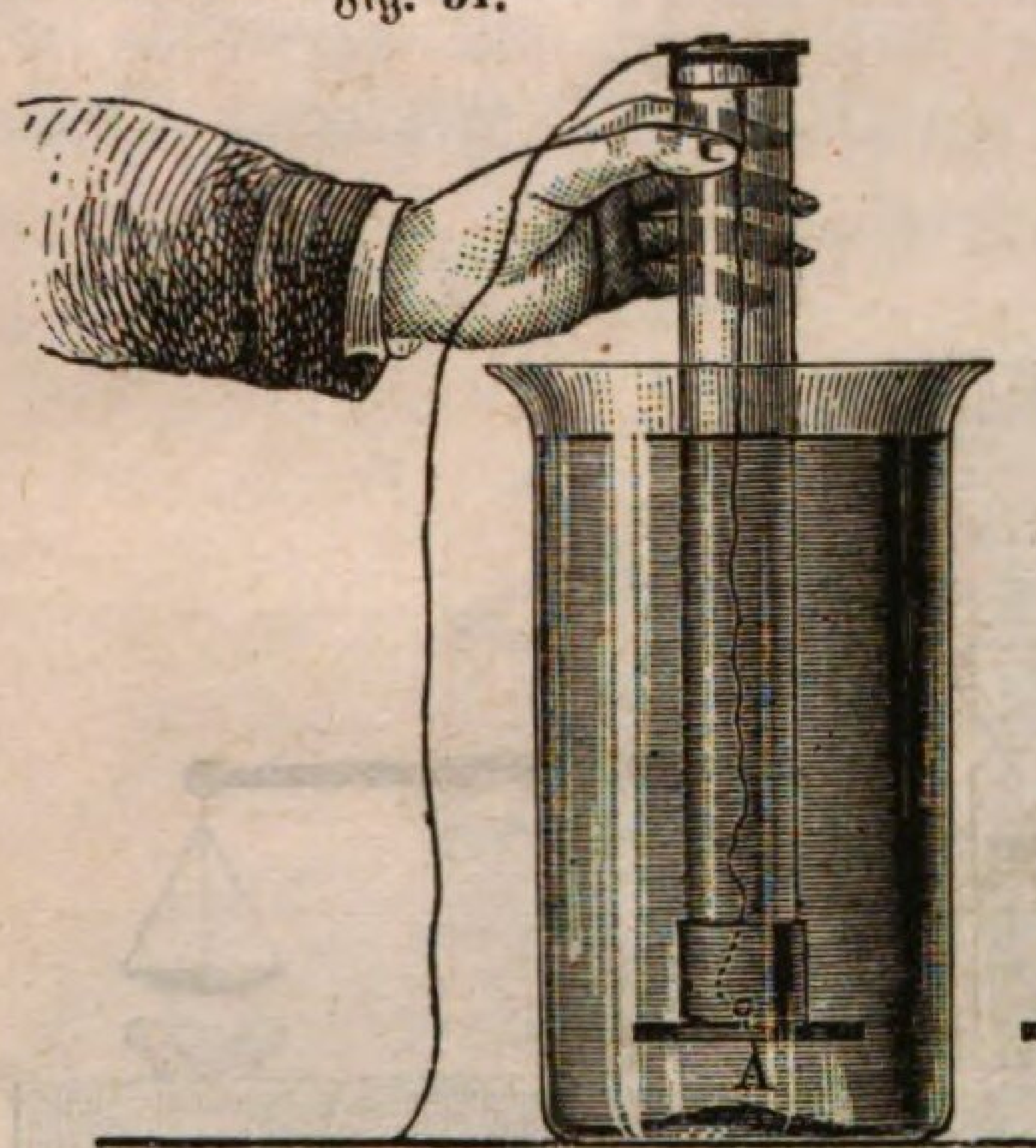


Dieß erkennt man mittelst des Wolf'schen anatomischen Hebers (sipho anatomicus, Fig. 47), des hydrostatischen Blasebalgs (follis hydrostaticus, Fig. 48) und der hydrostatischen Springbrunnen (Fig. 49), welche Apparate sämmtlich communicirende Gefäße von sehr ungleicher Weite und Höhe sind, und bei welchen das niedere, weitere Gefäß nach oben entweder durch eine Thierblase oder eine feste Platte geschlossen ist. Ihre sonstige Einrichtung erkennt man leicht aus den Figuren.

Fig. 50.



Fig. 51.

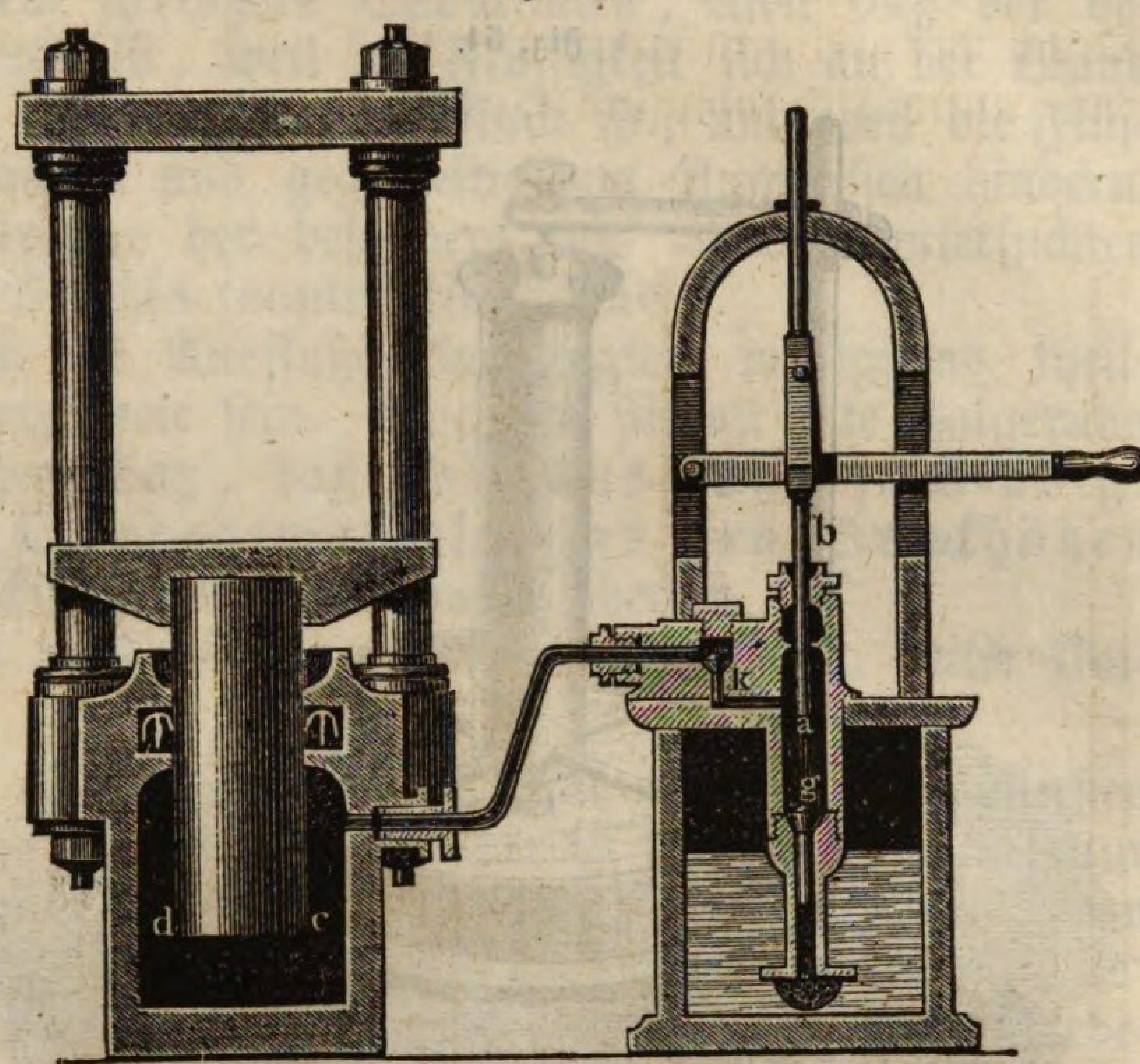


Der in jeder Flüssigkeit nach oben wirkende Druck läßt sich auch nachweisen, wenn man eine Glasröhre an dem einen Ende mittelst eines gespannten Fadens durch eine fest anliegende Scheibe schließt (Fig. 50) und in die Flüssigkeit einsenkt; dann wird die Scheibe angedrückt bleiben, auch wenn der Faden nicht mehr gespannt ist (Fig. 51) — offenbar in Folge des aufwärts wirkenden Drucks der Flüssigkeit. Die Größe desselben findet man, in Uebereinstimmung mit dem Gesetz vom Bodendruck, wenn man die Glasröhre behutsam mit der Flüssigkeit anfüllt. Kommt diese dem Niveau der äußeren Flüssigkeit nahe, so fällt die Scheibe ab; es überwiegt nämlich alsdann der Druck der eingeschlossenen Flüssigkeit, vereint mit dem Gewicht der Scheibe, den aufwärts gerichteten Druck der äußeren Flüssigkeit.

In der Reichenbach'schen Wassersäulen-Maschine und in der Bramah'schen (hydraulischen) Presse (Fig. 52) wird der Druck, den das beim anatomischen Heber in der längeren Röhre befindliche Wasser ausübt, noch durch mechanischen Druck mittelst eines Druckkolbens verstärkt, welcher das Wasser durch die Seiten-

röhre in das niedrige, weite Gefäß (den Preßcylinder) treibt und einen in ihm befindlichen Kolben hebt. Ein Ventil, d. h. eine Vorrichtung, welche einer (tropfbaren oder gasförmigen) Flüssigkeit den Weg nach einer Richtung öffnet und nach der entgegengesetzten verschließt, hindert bei nachlassendem Druck das Zurückfließen des in den Preßcylinder getriebenen Wassers; ein zweites bewirkt das Aufsteigen des Wassers in der engeren Röhre.

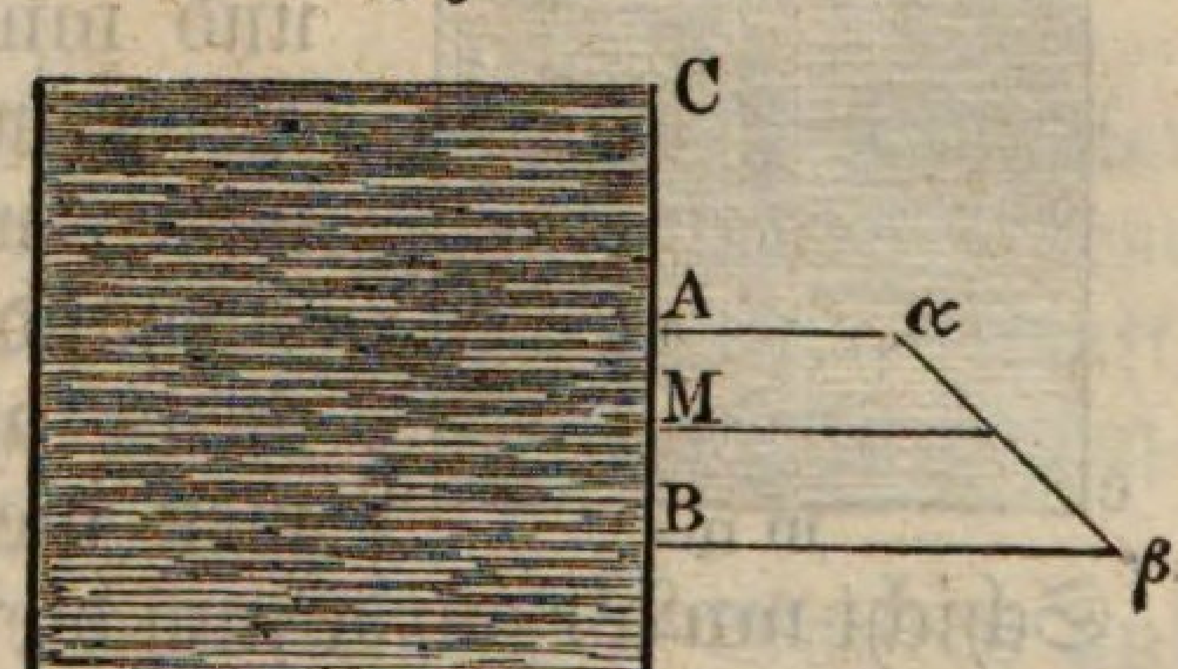
Fig. 52.



§ 52. Da der auf Flüssigkeiten ausgeübte Druck sich nach allen Richtungen gleichmäßig fortpflanzt, wird auch der **Seitendruck** durch das Gewicht einer Flüssigkeitssäule gemessen, deren Grundfläche die den Druck erleidende Stelle, deren Höhe die Erhebung des Niveau's über den Schwerpunkt der Stelle ist.

Denn: Es sei AB (Fig. 53) eine verticale Linie in einer verticalen Seitenwand; so erleidet A einen der AC und B einen der BC entsprechenden Druck. Zieht man nun $A\alpha = AC$ und $B\beta = BC$ senkrecht auf CB, so stellt das Trapez $A\alpha B\beta$ die Summe aller Druckkräfte, welche AB erleidet, dar; $A\alpha B\beta$ ist aber $= (A\alpha + B\beta) . \frac{1}{2}AB$ oder, wenn M die Mitte von AB ist, CM.AB.

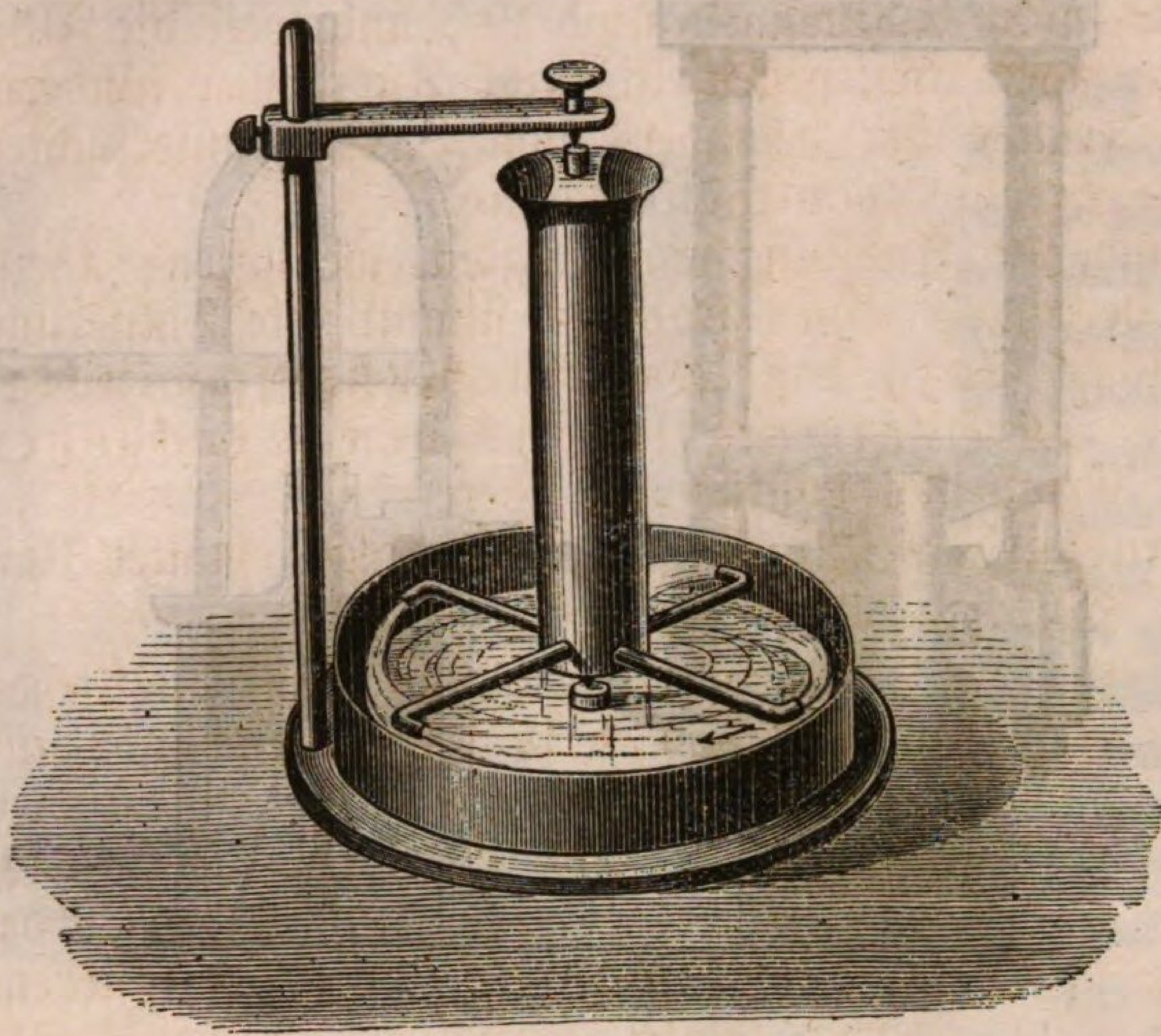
Fig. 53.



Offenbar läßt sich dieß auf verticale Flächen ausdehnen, da man sie als Summen verticaler Linien betrachten kann, und auch auf nicht verticale Theile der Seitenwand, da der Druck der Flüssigkeiten unabhängig von der Gestalt des Gefäßes ist.

Auf dem Seitendruck des Wassers beruht das Segner'sche **Wasserrad** (**Reactionsrad**), dessen Construction (Fig. 54) angiebt. Die Bewegung dessel-

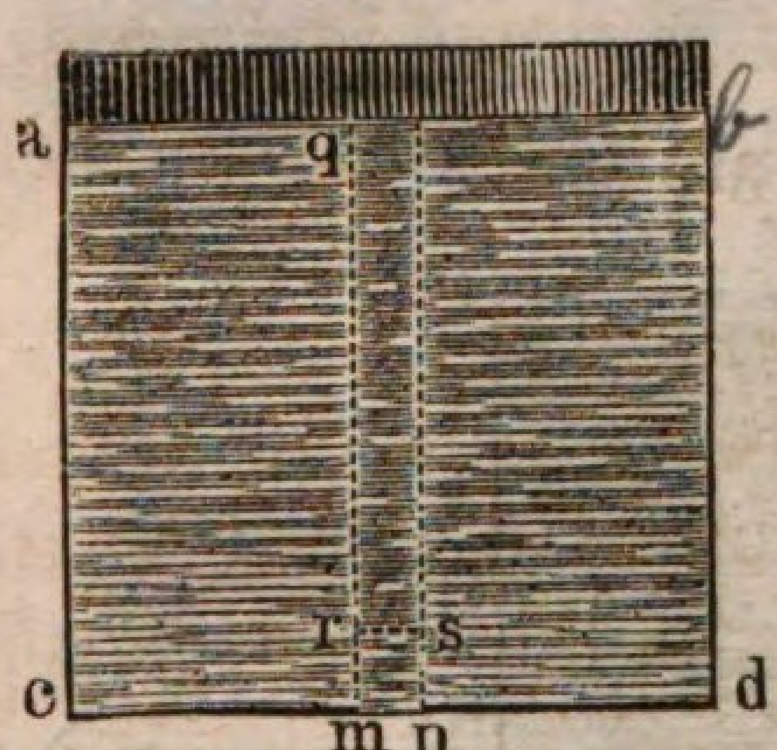
Fig. 54.



ben wird dadurch bewirkt, daß der in den Seitenröhren wirkende Wasserdruck nach derjenigen Seite wegfällt, wo das Wasser ausfließt, während der entgegengesetzte fortwirkt. (Verbesserung durch Althans. Turbinen.)

§ 53. **Die Geschwindigkeit**, mit welcher eine Flüssigkeit aus einer Oeffnung im Boden oder in der Seitenwand eines (oben offenen) Gefäßes **ausfließt**, wird durch den Druck bestimmt, welchen sie an jener Stelle erleidet, und ist in thesi gleich **der Geschwindigkeit, welche die Flüssigkeit erreichen würde, wenn sie die Druckhöhe h im freien Falle herabfiele, also nach** § 22 $v = \sqrt{2gh}$. Torricelli'scher Satz.

Fig. 55.



Man kann dieß folgender Maßen motiviren: Es sei abcd (Fig. 55) ein oben offenes Gefäß und mn eine runde Oeffnung von einer im Vergleich mit dem Gefäß geringen Weite; dann kann man, wenn die Flüssigkeit in bedeutender Menge vorhanden ist, dieselbe während eines Zeittheilchens als vollkommen ruhig ansehen, ausgenommen die unmittelbar über der Oeffnung befindliche Schicht mnWrs.ürde nun diese Schicht nur durch ihre eigene Schwere herabgetrieben, so würde ihre Geschwindigkeit $= \sqrt{2g.rm}$ sein. Die wirklich treibende Kraft g, ist aber größer als g im Verhältniß von qm : rm; setzt man nun $g, = \frac{qm}{rm} . g$ statt g ein, so erhält man $v = \sqrt{2qm.g}$, d. i. $\sqrt{2gh}$.

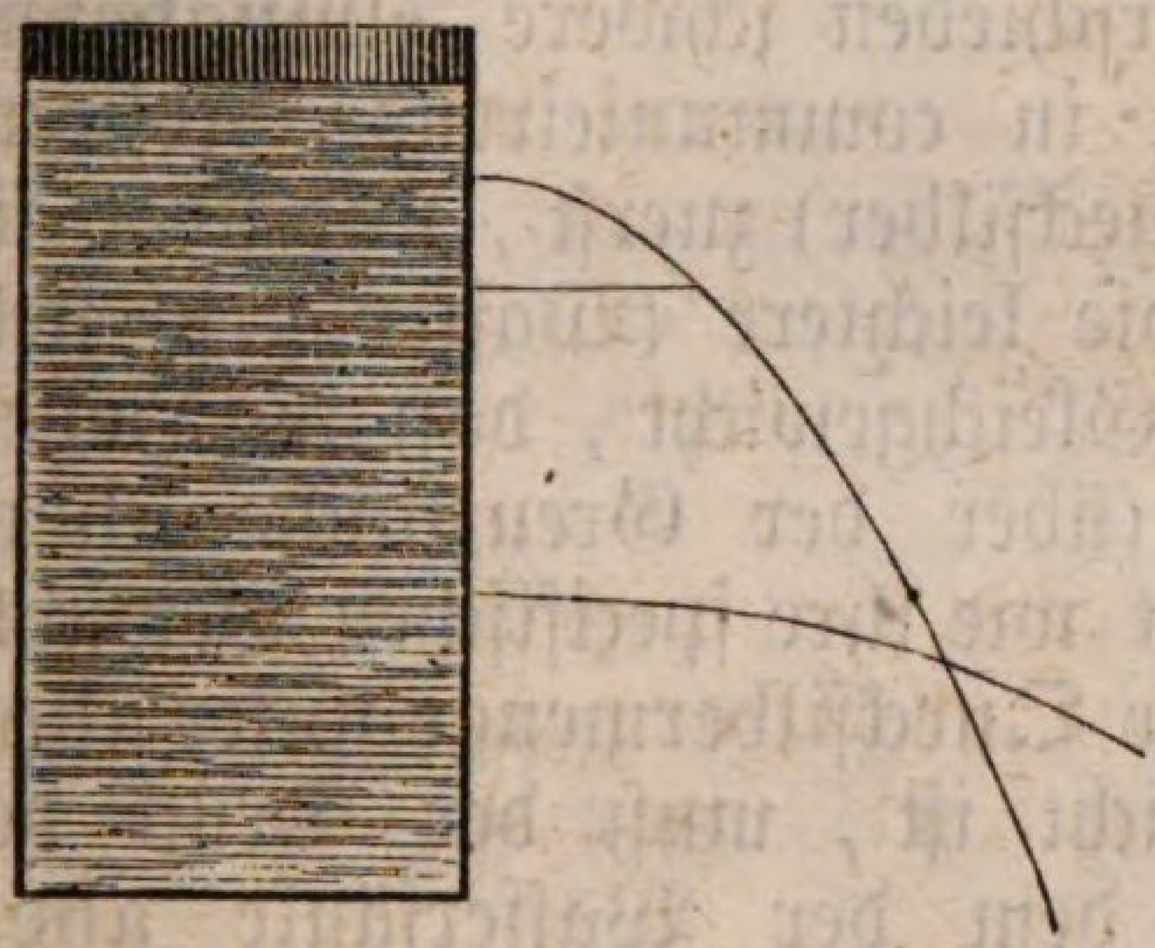
Aus der Ausflußgeschwindigkeit v, der Größe der Oeffnung a und der Zeit t (Secunden) erhält man, wenn das Niveau der Flüssigkeit dasselbe bleibt, offenbar durch Multiplication die Ausflußmenge Vol. = tva.

Die Erfahrung giebt geringere Quantitäten, etwa $64\frac{0}{0}$ der berechneten, und zwar deshalb, weil die Flüssigkeit sich an der Wand des Gefäßes reibt und nicht vollkommen fluid ist, und weil die Flüssigkeitstheilchen sich drängen und gegenseitig am Ausfließen hindern. Das Letztere ist die Ursache der besonders von Savart untersuchten Zusammenziehung des Strahls (contractio venae).

Demnach muß auch die Ausflußgeschwindigkeit wenigstens theilweise kleiner als die berechnete sein. Dagegen stimmt die Folgerung aus dem Torricelli'schen Satz, daß „die Ausflußgeschwindigkeiten sich wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen verhalten" mit der Erfahrung vollkommen überein.

Durch Ansatzröhren wird die Ausflußmenge geändert, unter Umständen erhöht.

Fig. 56.



Aehnliches gilt von dem Ausfließen aus Oeffnungen in der Seitenwand; nur treten hier noch andere Modificationen hinzu, weil die einzelnen Flüssigkeitstheilchen schon vermöge ihrer verschiedenen Tiefe unter dem Niveau verschiedene Geschwindigkeit erhalten müssen. Als mittlere Druckhöhe kann man die Erhebung des Niveau's über dem Schwerpunkt der Oeffnung annehmen.

Der aus einer Seitenöffnung frei herausfließende Wasserstrahl muß bei constanter Druckhöhe sich (nach § 26) in einer Parabel oder — wegen des Widerstandes der Luft — in einer der Parabel nahe kommenden Curve bewegen, deren Gestalt nach der Ausflußgeschwindigkeit verschieden sein wird (Fig. 56).

Der Stoß, welchen das aus einer Seitenöffnung in horizontaler Röhre fließende Wasser auf eine senkrecht getroffene ruhende Ebene ausübt, entspricht natürlich der diese Wirkung hervorbringenden Kraft, also dem Druck einer Wassersäule, welche zur Grundfläche die getroffene Ebene E und zur Höhe die Druckhöhe hat.

Demnach ist auch der Stoß jedes anderen fließenden Wassers auf eine senkrecht getroffene ruhende Ebene E gleich dem Gewicht einer Wassersäule, welche E zur Grundfläche, und zur Höhe die der Geschwindigkeit entsprechende Fallhöhe hat, mithin gleich dem Gewicht der Wassersäule Eh oder mit Zuziehung von $v = \sqrt{2gh}$, der Wassersäule $\frac{E.v^2}{2g}$. Dieser Ausdruck giebt die lebendige Kraft des fließenden Wassers an, welche also dem Quadrat der Geschwindigkeit und (da E die Masse des in jedem Moment die Ebene treffenden Wassers bedeutet) der bewegten Masse proportionirt ist.

(Unterschlächtige Wasserräder.)

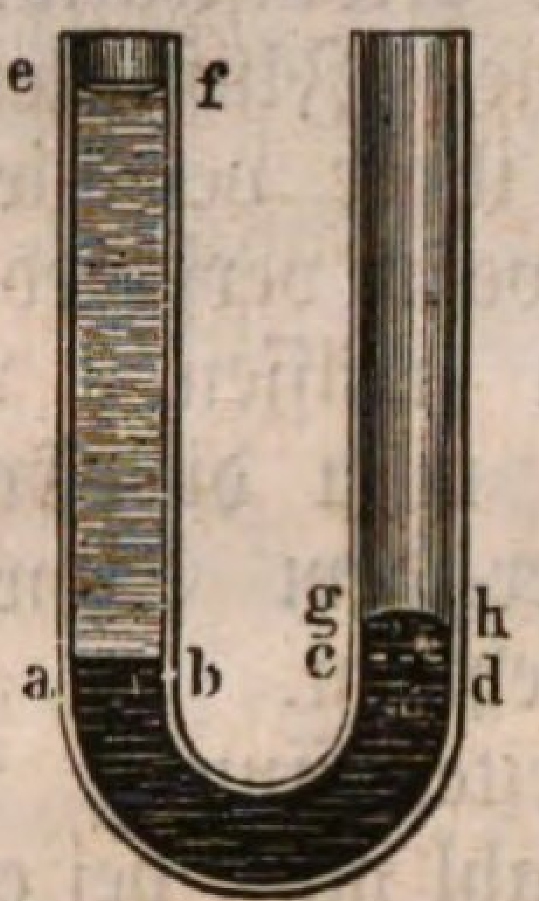
§ 54. Befinden sich verschieden schwere Flüssigkeiten, welche sich nicht mengen, in einem Gefäße, so daß sie sich frei bewegen können, so ordnen sie sich über einander nach ihren specifischen Gewichten.

Das Elementarfläschchen: Quecksilber, Weinsteinöl, Alkohol und Steinöl.

Sind die Flüssigkeiten mischbar (z. B. Wasser und Alkohol), so treten sie immer so in ein stabiles Gleichgewicht, daß sie eine vollkommen homogene Flüssigkeit bilden.

Gießt man die schwerere (Wasser) behutsam über die leichtere, so wird die Mengung sehr bald, bei der geringsten Erschütterung erfolgen; gießt man die leichtere (Alkohol) vorsichtig über die schwerere, so geschieht es allmählich, zunächst an der Grenzschicht, indem sich die Molecüle gegenseitig anziehen, und von da aus weiter. Ein solches Uebergehen einer Flüssigkeit in eine andere nennt man Diffusion.

Fig. 57.



Gießt man zwei verschieden schwere Flüssigkeiten, die sich nicht mengen, in communicirende Röhren, die schwerere (z. B. Quecksilber) zuerst, und über sie in dem einen Gefäße die leichtere (Wasser), so stellen sie sich derart ins Gleichgewicht, daß die Höhen der Flüssigkeitssäulen (über der Grenzfläche abcd, Fig. 57) sich umgekehrt wie ihre specifischen Gewichte verhalten. Denn da die Quecksilbermenge unter abcd für sich im Gleichgewicht ist, muß der Druck der Quecksilbersäule cdgh dem der Wassersäule abef, wo sie sich auch begegnen, in ab oder cd, das Gleichgewicht halten. Dieß ist, da sie die Grundfläche gemein haben, nur möglich, wenn die Producte aus Höhe und specifischem Gewicht einander gleich sind. Communiciren zwei mischbare Flüssigkeiten (z. B. Wasser und Kupfervitriol-Auflösung) mit einander, nur durch die Poren eines porösen Körpers (einer Thierblase oder unglasirten Thones), so gehen die Flüssigkeiten, wie die Färbung anzeigt, allmählich in einander über, aber mit verschiedener Geschwindigkeit, so daß das eine Niveau steigt, das andere fällt — unabhängig von hydrostatischen Gesetzen.

Diese Art der Diffusion nennt man (Dutrochet) Endosmose. Sie findet auch bei Alkohol und Wasser, Zuckerlösung oder Gummilösung und Wasser u. dergl. statt. (Endosmometer.)

§ 55. Wird ein fester Körper in eine Flüssigkeit eingetaucht, so verliert er von seinem Gewicht so viel, als die von ihm verdrängte Flüssigkeit wiegt. (Das Archimedische Princip.)

Beim Beweise des Satzes sind drei Fälle zu unterscheiden:

1) Es sinkt der Körper nur zum Theil in die Flüssigkeit ein; d. h. er schwimmt an ihrer Oberfläche und wird durch die Flüssigkeit ge-

tragen, so daß er eine Wage, an welche er mit einem hinreichend langen Faden befestigt war, gar nicht afficirt, sondern in Bezug auf sie sein ganzes Gewicht verliert: dann ist offenbar, daß das bestehende Gleichgewicht durchaus nicht gestört wird, wenn man den Körper herausgenommen und durch das Segment Flüssigkeit, welches er verdrängt hatte, ersetzt denkt. Es muß also das Gewicht dieser Flüssigkeit gleich dem Gewicht des Körpers (d. i. zugleich sein Gewichtsverlust) sein. Der Körper ist in diesem Falle offenbar specifisch leichter als die Flüssigkeit.

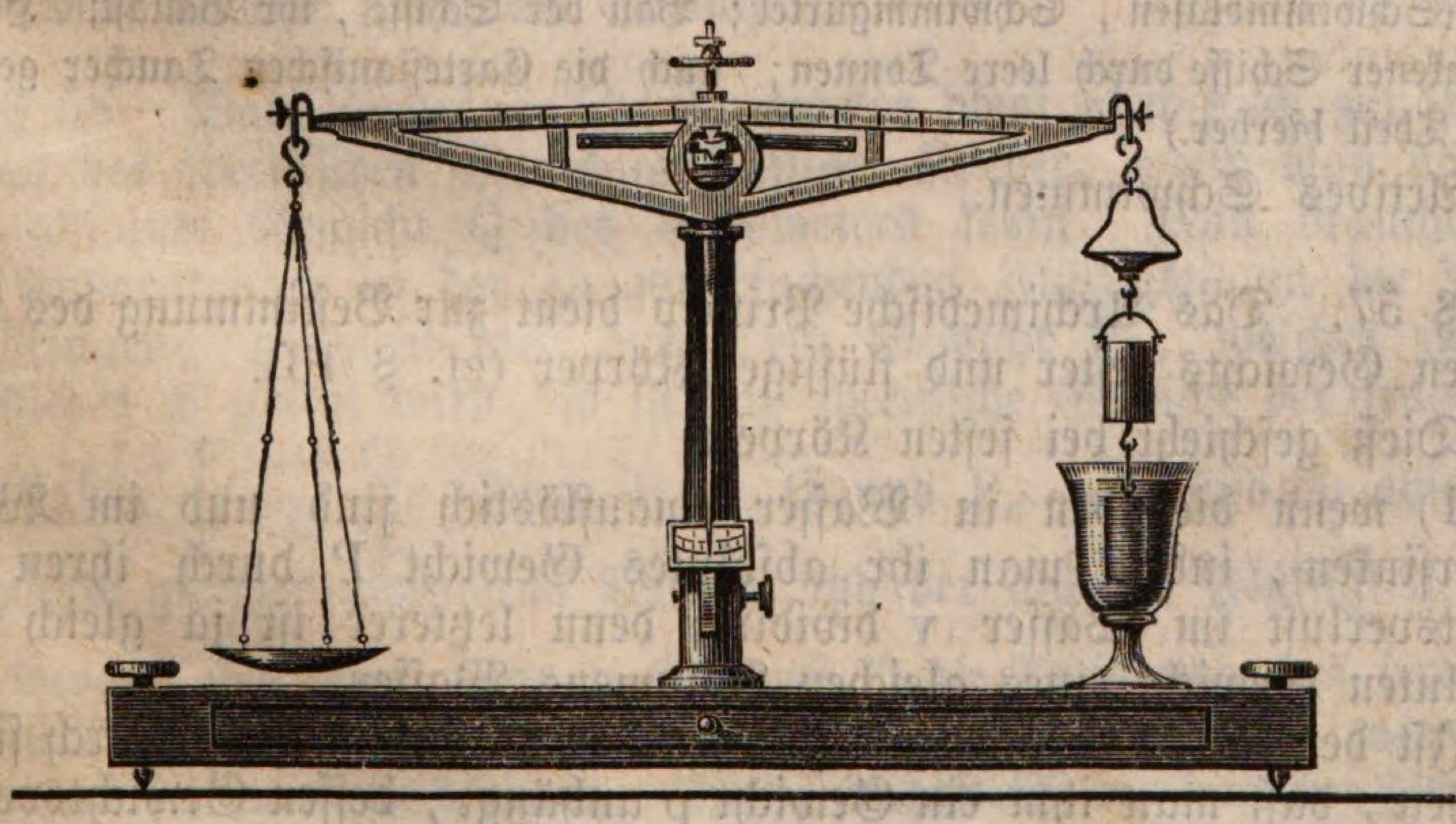
2) Der Körper sinkt in die Flüssigkeit ein, bis er von ihr allseitig umgeben ist; d. h. er schwimmt innerhalb der Flüssigkeit an jener Stelle und jeder beliebigen andern: dann gilt offenbar noch der vorige Beweis. Nur ist das Gewicht des Körpers in diesem Falle (nicht, wie vorhin kleiner, sondern) eben so groß als das Gewicht der Flüssigkeit von seinem Volumen. Sein specifisches Gewicht ist demnach gleich dem der Flüssigkeit.

3) Der Körper sinkt in die Flüssigkeit ein und muß an weiterem Sinken verhindert werden: dann wird ein Theil seines Gewichts (P) von der Flüssigkeit getragen, nämlich so viel, als die von ihm verdrängte Flüssigkeit wiegt (p). Nur mit dem Ueberschuß seines Gewichts P über das der verdrängten Flüssigkeit, nämlich mit $P - p$, wird er auf eine Wage, an welche er gehängt ist, wirken.

In diesem Falle ist der Körper specifisch schwerer als die Flüssigkeit.

Wird ein fester Körper, der leichter als eine Flüssigkeit ist, mit Gewalt in dieselbe untergetaucht, so ist jenes $P - p$ negativ; der Körper wird also mit dieser negativen Kraft sinken, d. h. mit $p - P$ steigen und so weit sich über die Oberfläche erheben, bis das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeit gleich seinem Gewicht, $p = P$, also $p - P = o$ ist. Die Kraft $p - P$, mit welcher er zu steigen

Fig. 58.

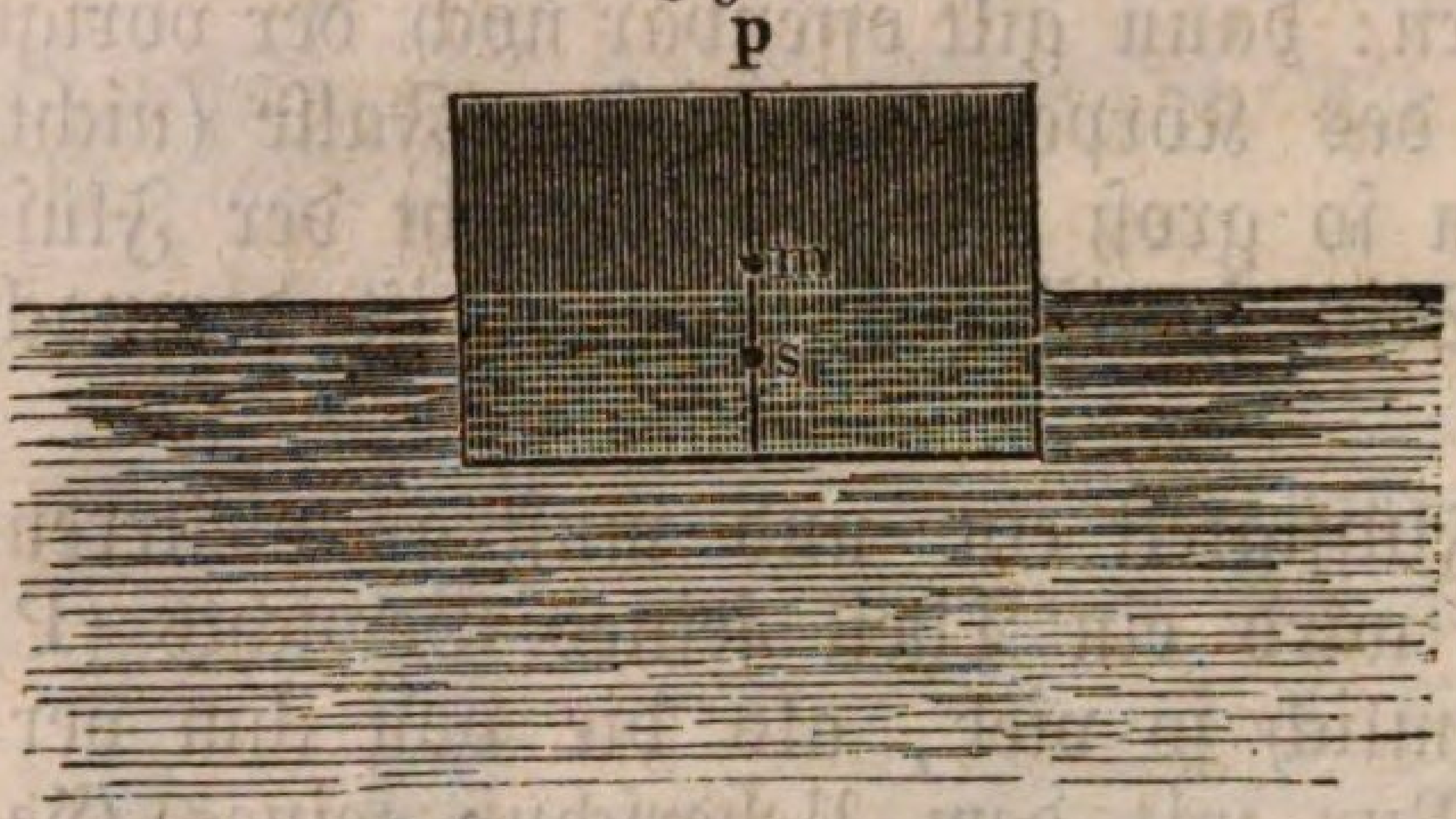


anfing und stieg, so lange er von Flüssigkeit umgeben war, heißt sein **Auftrieb**.

Alles dieß läßt sich an der **hydrostatischen Wage** (Fig. 58) verschiedentlich nachweisen.

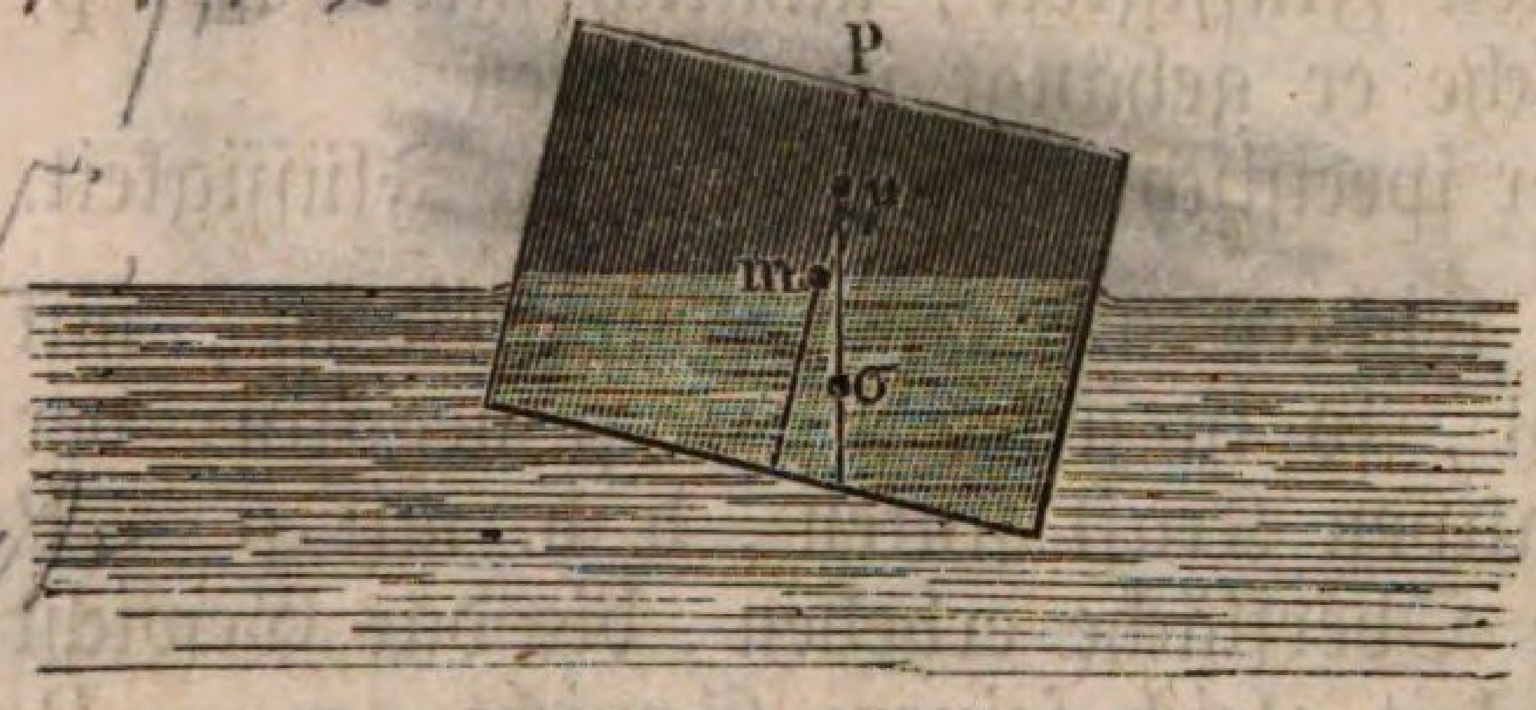
§ 56. An der Oberfläche einer Flüssigkeit kann ein Körper nur dann **schwimmen**, wenn er entweder an sich specifisch leichter als die Flüssigkeit ist (Nr. 1 im vor. §), oder mit einem specifisch leichteren Körper (z. B. der Luft) so verbunden wird, daß das Gewicht des Gesammtkörpers kleiner als das Gewicht der Flüssigkeit von gleichem Volumen ist.

Fig. 59.



Soll er schwimmend sich im Gleichgewicht befinden, dann muß sein Schwerpunkt m (Fig. 59) mit dem Schwerpunkt s der von ihm verdrängten Flüssigkeit in verticaler Linie ms liegen, sonst würde eine Drehung erfolgen.

Fig. 60.



Soll der Körper mit Stabilität schwimmen (d. h.?), so braucht m nicht unter s zu liegen; es genügt, daß m bei der Lage des gestörten Gleichgewichts (Fig. 60) sich unter dem Punkt μ befinde, in welchem die durch den Schwerpunkt σ der verdrängten Flüssigkeit gezogene Verticale $\sigma\mu$ sich mit der bei der Gleichgewichtslage bestimmten Falllinie mp des Schwerpunkts des Körpers schneidet. Jener Punkt heißt das **Metacentrum**. Findet diese Bedingung nicht statt, so muß der Körper völlig umstürzen.

(Schwimmblasen, Schwimmgürtel; Bau der Schiffe, ihr Ballast; Hebung gesunkener Schiffe durch leere Tonnen; auch die Cartesianischen Taucher gehören zum Theil hierher.)

Actives Schwimmen.

§ 57. Das Archimedische Princip dient zur Bestimmung des specifischen Gewichts fester und flüssiger Körper (cf. § 13).

Dieß geschieht bei festen Körpern

1) wenn dieselben in Wasser unauflöslich sind und im Wasser untersinken, indem man ihr absolutes Gewicht P durch ihren Gewichtsverlust im Wasser v dividirt; denn letzterer ist ja gleich dem absoluten Gewicht eines gleichen Volumens Wasser.

Ist der Körper leichter als Wasser, so muß man ihn dadurch sinken machen, daß man ihm ein Gewicht p anhängt, dessen Gewichtsverlust

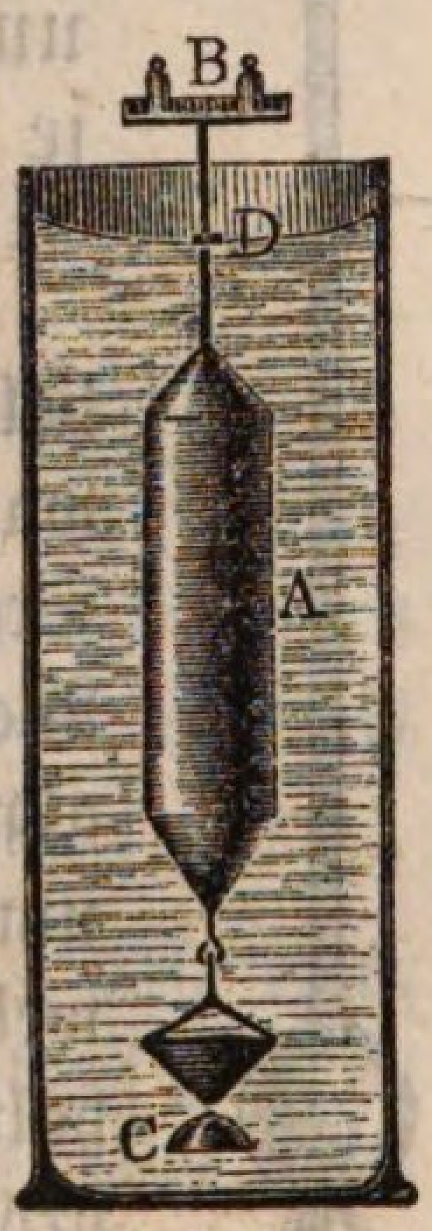
im Wasser $v_,$ man kennt, und den Gewichtsverlust $v_{,,}$ des ganzen Körpers bestimmen; dann ist offenbar $v_{,,} = v + v_,$, also $v = v_{,,} - v_,$, demnach sein specifisches Gewicht $s = \frac{P}{v_{,,} - v_,}$.

2) wenn sie sich im Wasser auflösen, indem man ihr specifisches Gewicht in Bezug auf eine Flüssigkeit ermittelt, in welcher sie unauflöslich sind, und dasselbe mit dem specifischen Gewicht dieser Flüssigkeit multiplicirt; denn ....?

Körner, Erden, Pulver.

Bei Körpern, welche Wasser einsaugen, ist das Verfahren complicirter; man hat alsdann das specifische Gewicht des ganzen Körpers (incl. seiner Poren) von dem specifischen Gewicht der eigentlichen Materie des Körpers zu unterscheiden.

Fig. 61.



Bei festen Körpern von geringem Gewicht kann man sich auch des von Nicholson verbesserten Fahrenheit'schen Aräometers (ἀραιός dünn, locker, Gegensatz von πυκνός) bedienen.

Dasselbe besteht aus einem Hohlcylinder A (Fig. 61), welcher mit einem Schälchen B über ihm und einem schweren Eimer C unter ihm durch einen Draht verbunden ist und im Wasser in verticaler Stellung stabil so schwimmt, daß er durch ein bestimmtes Gewicht P in dem oberen Schälchen bis zu einem markirten Punkt D (der Richte) einsinkt. Legt man den Körper, dessen specifisches Gewicht man bestimmen will, statt des Gewichts P in das Schälchen B, so kann man durch Zulegen von Gewichten vorerst das absolute Gewicht des Körpers und, wenn man ihn in den Eimer C (oder, wenn er leichter als Wasser ist, unter ihn) legt, auch seinen Gewichtsverlust v im Wasser finden; $\frac{P}{v}$ ist alsdann das gesuchte specifische Gewicht.

§ 58. Das Nicholson'sche Aräometer dient aber auch zur Ermittelung des specifischen Gewichtes flüssiger Körper; wenn man nämlich das absolute Gewicht Q des Aräometers kennt. Man braucht nur den Apparat auch in der zu untersuchenden Flüssigkeit in die Richte zu bringen; geschieht dieß durch ein Gewicht $P_,$, welches in das Schälchen B gelegt wird, so ist das specifische Gewicht der fraglichen Flüssigkeit $\frac{P_, + Q}{P + Q}$. Denn $P + Q$ und $P_, + Q$ sind die absoluten Gewichte gleicher Volumina Wasser und der anderer Flüssigkeit.

Genauer und darum mehr in Gebrauch ist die Bestimmung des specifischen Gewichts der Flüssigkeiten durch Glasfläschchen, welche in einen engen Hals enden und bis zu einem bestimmten Punkte zunächst mit der fraglichen Flüssigkeit,

dann mit reinem (destillirten) Wasser gefüllt und gewogen werden. Der Quotient der Gewichte (nach Abzug des Gewichts des leeren Fläschchens) giebt das specifische Gewicht der Flüssigkeit, um welche es sich handelt. (Das Archimedische Princip kommt hierbei, wie man sieht, nicht in Anwendung.) Um die Division zu erleichtern, wählt man gern Tausend-Gran-Fläschchen, d. h. Gläschen, welche gerade 1000 Gran reinen Wassers fassen.

§ 59. Das Nicholson'sche Aräometer ist ein Aräometer mit Gewichten, im Gegensatz zu den Aräometern (Gravimetern, Pyknometern) mit Scalen, welche auch Senkwagen heißen.

Fig. 62.



Sie sind sämmtlich hohle Glaskörper (Fig 62), welche in längere, enge und gleich weite Röhren enden und, damit sie lothrecht schwimmen, in der untersten Kugel etwas Quecksilber oder Schrot enthalten. Sie beruhen darauf, daß ein und derselbe Körper in einer Flüssigkeit um so tiefer einsinkt, je leichter sie ist.

Sie haben meist nur einen technischen Werth, wie z. B. das Alkoholometer, die Salzspindeln (Soolwagen), Laugenwagen, Branntweinwagen, Oelwagen u. s. w. Ihre an der engen Röhre angebrachte Scala, von dem Punkte ausgehend, bis zu welchem sie in reinem Wasser einsinken, ist für leichtere Flüssigkeiten aufwärts, für schwerere abwärts gerichtet. Bei den meisten derselben handelt es sich weniger um das specifische Gewicht, als um das Mischungsverhältniß der Stoffe, welche die Flüssigkeit bilden. So giebt das Alkoholometer den Gehalt einer Spiritussorte an Alkohol entweder (nach Tralles) in Raumprocenten oder (nach Richter) in Gewichtsprocenten an, die Soolwage den Salzgehalt in Theilen der Salzmenge, welche die gesättigte Soole enthält. Bei beiden beginnt die Scala demgemäß mit Null und wird bestimmt, indem man den Apparat in Mischungen von bekanntem Mischungsverhältniß einsenkt.

Einen mehr wissenschaftlichen Charakter hat das Volumeter von Gay-Lussac und Francoeur, bei welchem die Scala mit 100 beginnt, und abwärts die Theilstriche 99, 98 . . . . ., aufwärts 101, 102 u. s. w. so gesetzt sind, daß das Volumen des Röhrenstücks zwischen je zwei auf einander folgenden Strichen $\frac{1}{100}$ von dem im Wasser einsinkenden Volumen beträgt. Dann erhält man das specifische Gewicht einer Flüssigkeit, in welcher das Volumeter bis n einsinkt, $= \frac{100}{n}$.

Denn da das Gewicht des Volumeters immer gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit ist (§ 55, Nr. 1), müssen 100 Volumina

Wasser an Gewicht gleich n Volumina der andern Flüssigkeit sein, also ein Volumen der letzteren $= \frac{100}{n}$ Volumen Wasser.

Die Archimedische Aufgabe.

Der schwerste Körper ist Platin, sein spec. Gewicht bei 0° Wärme etwa 22, das des Goldes $19\frac{1}{4}$ bis $19\frac{1}{3}$, des Quecksilbers $13\frac{3}{5}$, des Bleis $11\frac{1}{3}$, des Silbers $10\frac{1}{2}$, des Kupfers $8\frac{4}{5}$, des Eisens $7\frac{4}{5}$ bis $7\frac{1}{5}$ u. s. w. Das spec. Gewicht des Glases liegt zwischen $2\frac{3}{8}$ und $3\frac{7}{10}$, das der Erden zwischen $1\frac{1}{2}$ und $3\frac{1}{2}$. Die meisten Hölzer sind leichter als Wasser, am leichtesten Korkholz ($s = \frac{1}{4}$) und Pappelholz ($s = \frac{8}{21}$); schwerer sind Buchsbaum ($1\frac{1}{3}$), Ebenholz, Eichenkernholz, Guajacholz (lignum sanctum), Fernambukholz, Mahagoni u. s. w. Die Weine sind etwas leichter als Wasser, mit Ausnahme der südlichen (spanischen) Weine und der weißen französischen. Der menschliche Körper ist etwas schwerer als Wasser ($1\frac{1}{10}$).

III. Statik und Mechanik der luftförmigen Körper.

(Aërostatik und Aërodynamik.)

§ 60. Die luftförmigen Körper unterscheiden sich von den flüssigen dadurch, daß sie das Bestreben haben, sich in immer größeren Raum auszudehnen, während die letzteren immer gerade die Gestalt des Gefäßes annehmen, in welches sie gegossen werden.

(Der Unterschied der 3 Aggregatzustände besteht also auch darin, daß jeder feste Körper ein ihm eigenthümliches Volumen und bestimmte Gestalt, jeder flüssige zwar ein bestimmtes Volumen, aber keine bestimmte Gestalt, der gasförmige weder bestimmtes Volumen, noch bestimmte Gestalt hat.)

Aus dieser ihrer „Ausdehnsamkeit" (Expansivkraft) folgt ihre Compressibilität. Als Repräsentant der Gase dient die atmosphärische Luft („Luft" schlechtweg), welche unser Erdsphäroid als eine kugelförmige Schale vollständig umgiebt, und von deren Vorhandensein*), Undurchdringlichkeit (§ 2), Zusammendrückbarkeit und Ausdehnsamkeit man sich leicht (wie nämlich?) überzeugt. Eben so evident ist, daß ihre Theile absolut leicht verschiebbar sind.

Daß sie schwer ist, folgt zunächst daraus, daß sie ja die Erde bei ihrer Bewegung um die Sonne nicht verläßt, was ohne ihre Schwere geschehen müßte; andererseits läßt es sich durch einen später zu beschreibenden Apparat (die Luftpumpe, § 68) zeigen.

Aus den genannten Eigenschaften folgt, daß, wie bei flüssigen Körpern, auch bei gasförmigen, jeder Druck sich nach allen

*) Diese Erwähnung ist nicht müßig, da man im täglichen Leben in manchen Ausdrücken die Luft gänzlich ignorirt; man spricht von leeren Stuben, Flaschen, Gläsern, Räumen, ohne an die in ihnen befindliche Luft zu denken.

Richtungen gleichmäßig fortpflanzen muß, daß ferner jede in der Luft befindliche horizontale Fläche einen Druck erleidet, gleich dem Gewicht der Luftsäule, welche auf ihr lastet, und daß dieser Druck bei einer Aenderung der Lage der Fläche derselbe bleibt, daß endlich jeder in der Luft befindliche Körper einen Gewichtsverlust erleidet, gleich dem Gewicht der von ihm verdrängten Luft.

Aber es muß, wegen der Zusammendrückbarkeit der Luft, ihre Dichtigkeit von der äußeren Grenze der Atmosphäre an nach der Erdoberfläche zu stetig zunehmen.

Ausreichende Belege für diese Folgerungen können größtentheils erst später gegeben werden.

Fig. 63.



§ 61. Da der Luftdruck allseitig auf uns wirkt, nehmen wir ihn nicht wahr, und es bedurfte eines besonderen Versuchs, um sein Dasein nachzuweisen.

Dieser von Evangelista Torricelli, einem Schüler Galilei's, 1643 angestellte Versuch ist im Wesentlichen folgender:

1) Füllt man eine weniger als 28 Par. Zoll lange einerseits offene Glasröhre mit Quecksilber und stürzt sie lothrecht in ein Gefäß mit Quecksilber um, so bleibt die Röhre gefüllt.

2) Nimmt man aber eine 30″ lange oder längere Röhre, so sinkt das Quecksilber in der Röhre stets so weit, daß es etwa eine 28″ lange Säule ab (Fig. 63, vom äußern Niveau an gerechnet) bildet.

Man erklärte die erste Erscheinung, welche man mit dem hydrostatischen Gesetze (§ 50) unvereinbar fand, durch Annahme eines Naturprincipes, des horror vacui, nach welchem die Natur keinen leeren Raum dulden solle. Man war also genöthigt, um die 2te Erscheinung zu erklären, jenes Princip auf ganz unbestimmbare, äußerst enge Grenzen zu beschränken, d. h. es fallen zu lassen.

Durch Wirkung der Adhäsion läßt sich die Erscheinung aus 2 Gründen (nämlich?) nicht erklären; es bleibt also nur der von Torricelli richtig erkannte Grund:

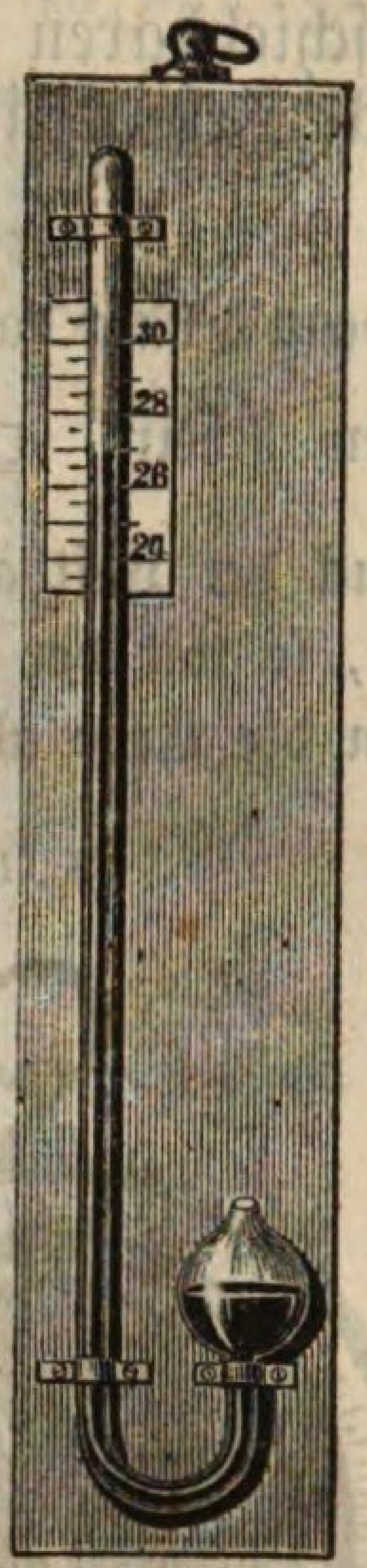
Der Druck, welcher die Quecksilbersäule ab trägt und am Herabsinken hindert, ist der Druck der atmosphärischen Luft auf das äußere Quecksilber.

Nimmt man statt des Quecksilbers Wasser, so gilt, was von einer Quecksilbersäule von 28″ gesagt wurde, von einer Wassersäule von 32 Par. F., d. i. 33 Rheinl. Fuß. In der That muß ja die eine so, wie die andere, von dem Luftdruck getragen werden, da das Gewicht der einen (unter übrigens gleichen Umständen) dem der andern gleich ist. Torricelli'sche Röhre, Leere (vacuum Torricellianum).

§ 62. Der Torricelli'sche Versuch dient nicht bloß dazu, den Luftdruck nachzuweisen, sondern auch ihn zu messen. Ein dazu eingerichteter Apparat heißt ein **Barometer**.

Man unterscheidet zunächst zwei Arten, das **Gefäßbarometer** und das **Heberbarometer**. Als brauchbares Gefäßbarometer kann schon der Torricelli'sche Apparat dienen, wenn an der Röhre vom Niveau des äußeren Quecksilbers ab eine Scala von Zollen und Linien angebracht ist, und das äußere Niveau bei geändertem Luftdruck durch eine Mikrometerschraube mit dem Nullpunkt der Scala coincidirend gehalten wird. Der Apparat ist aber nicht transportabel; soll er dieß sein, so muß er viel complicirter eingerichtet werden. (Fortin'sches Barometer.)

Fig. 64.



Die gewöhnlichen Gefäßbarometer sind, wie Fig. 64 angiebt, construirt. Ist bei diesen sowohl die Scala, als der Glaskörper fest, so muß die Röhre sehr eng sein, damit bei sich änderndem Luftdruck das äußere Niveau sich nicht merklich ändere. Dann wird aber, abgesehen von andern Uebelständen (welchen?), die Capillardepression, die auch bei dem vorerwähnten Barometer zu berücksichtigen war, äußerst groß und die Beobachtung sehr ungenau.

Fig. 65.

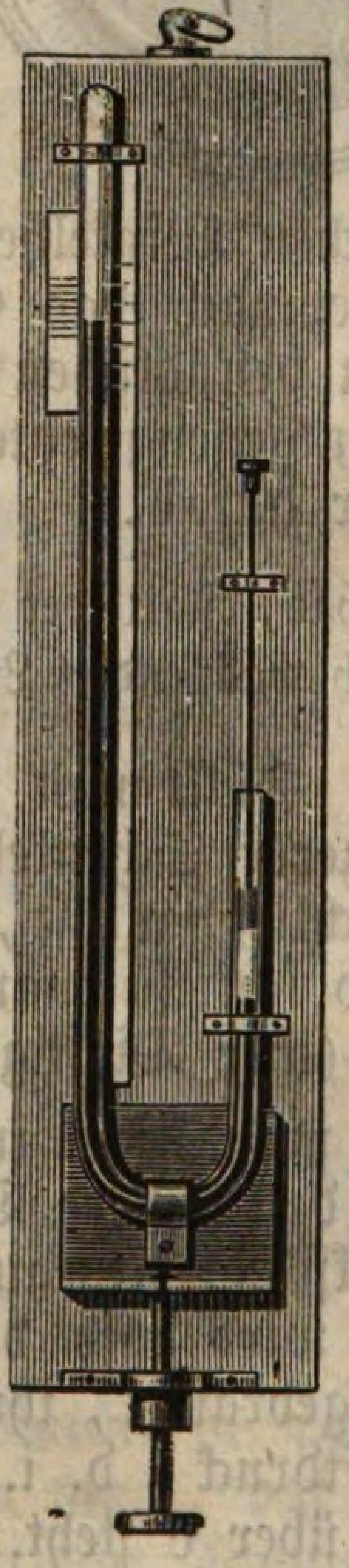


Fig. 65a.



Für Reisen sind die Deluc'schen **Heberbarometer** (Fig. 65) am meisten zu empfehlen. Denn für's erste kann man bei ihnen, wenn die beiden Arme der Heberröhre in der Nähe der beiden Quecksilber-Niveau's genau gleich weit sind, die Capillar-Wirkung als sich selbst aufhebend, außer Acht lassen. Außerdem sind sie leicht einzustellen und zu transportiren, mag nun (wie in Fig. 65a) eine Vorrichtung zum Absperren des Quecksilbers in der äußeren Röhre angebracht, oder diese selbst (wie bei den Gay Lussac'schen Reisebarometern, Fig. 65 b) bis auf eine capillare Oeffnung a, welche zwar Luft hinein, aber kein Quecksilber heraus treten läßt, geschlossen sein.

Wesentliche Bedingung eines guten Barometers ist: daß das Quecksilber vollständig rein, d. h. frei von metallischen Beimischungen, von Luft und Feuchtigkeit, ferner das „Vacuum“ vollständig luftleer sei, und die Röhre genau

vertical hängt. Für genaue Messungen muß die Scala mit einem verschiebbaren Nonius (Vernier) versehen sein, mittelst dessen man auch Zehntellinien ablesen kann.

Beträgt der Barometerstand, d. i. die Erhebung des innern Quecksilber-Niveau's über das äußere, 28 Par. ″, d. i. 29 Rheinl. ″, so ist der Luftdruck auf einen Rheinl. □″ $= \frac{29.61{,}8.13{,}59}{1728} =$ 14 Preuß. Pfd. Darnach läßt sich der Druck der Luft auf den menschlichen Körper, diesen zu 14 □′ Oberfläche gerechnet, so wie der Luftdruck auf die gesammte Erdoberfläche leicht berechnen, wenn man die Erde als Kugel annimmt, deren Radius = 859,5 Meilen ist.

Fig. 66.



Auf einem wesentlich andern Princip beruht das in neuerer Zeit von Bourdon erfundene Aneroïd-Barometer, welches zwar zu genauen Messungen sich nicht eignet, aber doch die Veränderungen des Luftdrucks in brauchbarer Weise angiebt. Es besteht aus einer elastischen, dünnen, kreisförmig gebogenen Röhre AFB (Fig. 66), welche an den Enden luftdicht verschlossen ist und sehr verdünnte Luft enthält. Ist dieselbe bei F befestigt und bei A und B frei, so krümmt sie sich bei zunehmendem äußeren Druck stärker; es nähern sich die beiden Enden einander und bewegen einen um die feste Axe C beweglichen Winkelhebel und mit ihm das gezahnte Radstück DE nach rechts, demnach das Getriebe G in entgegengesetzter Richtung, und den daran befindlichen Zeiger nach links. Bei abnehmendem Luftdruck tritt die entgegengesetzte Bewegung ein. Bei mittlerem Luftdruck steht der Zeiger auf F.

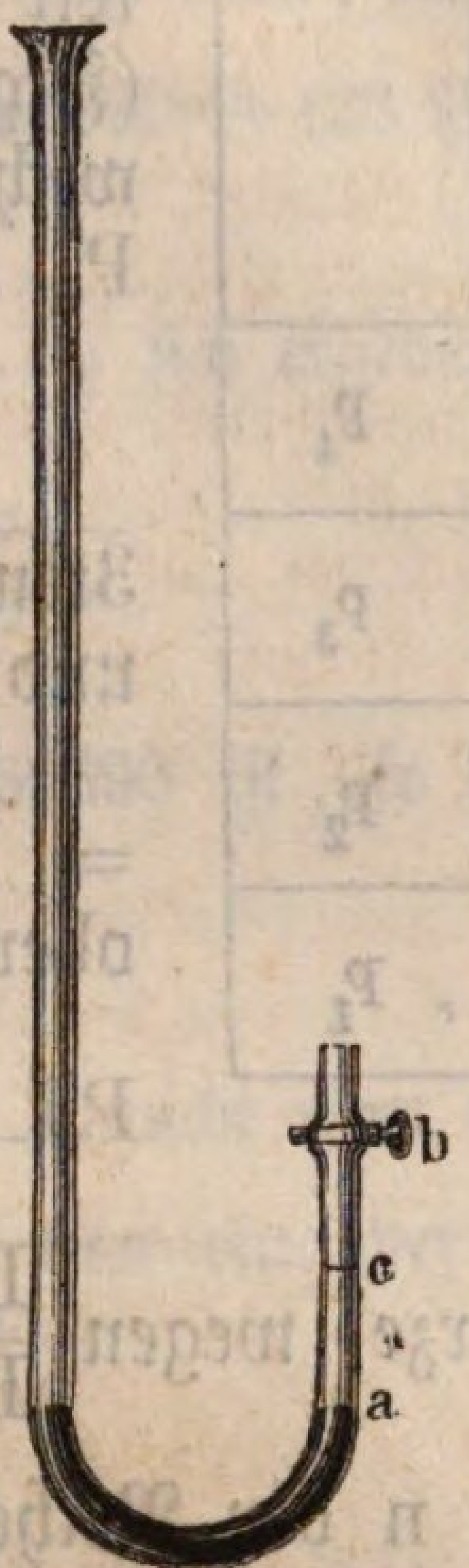
Vidi hat, statt der Röhre, eine Dose aus dünnem Kupferblech gewählt, welche durch wachsenden Luftdruck comprimirt wird.

§ 63. Füllt man in eine heberförmig gekrümmte Röhre (Fig. 67), deren kürzerer Schenkel überall gleich weit (genau calibrirt) und luftdicht verschließbar ist, Quecksilber, daß es bei a im Gleichgewicht steht, und schließt man den kürzeren Schenkel: so hält die abgeschlossene Luft (ihre Dichtigkeit) der äußeren das Gleichgewicht.

Gießt man dann in der offenen, längeren Röhre Quecksilber nach, so wächst der äußere Druck; die innere Luft wird comprimirt, und das Quecksilber-Niveau bei a steigt. Erhebt es sich bis c, der Mitte von ab, wird also die innere Luft auf die Hälfte ihres Volumens zusammengedrängt, ihre Dichtigkeit verdoppelt: so zeigt sich, daß (bei einem Luftdruck, d. i. Barometerstand von 28″) das äußere Niveau 28″ hoch über c steht. Der Druck, den die innere Luft jetzt erleidet,

dem sie also durch ihre Expansivkraft das Gleichgewicht hält, beträgt demnach 2.28″. Mithin ist die Dichtigkeit der Luft dem Druck direct proportionirt. Erhebt sich das Niveau nur um $\frac{1}{3}$ ab, so steht das äußere Niveau nur 14″ über dem innern, der Druck beträgt also $1\frac{1}{2}.28''$, eben so die Dichtigkeit $1\frac{1}{2}$ der ursprünglichen. So hat Arago und Dulong nachgewiesen, daß noch bei einer 27fachen Verdichtung die Expansivkraft der Luft (der Druck, dem sie widersteht) ihrer Dichtigkeit direct und folglich dem Volumen umgekehrt proportionirt ist.

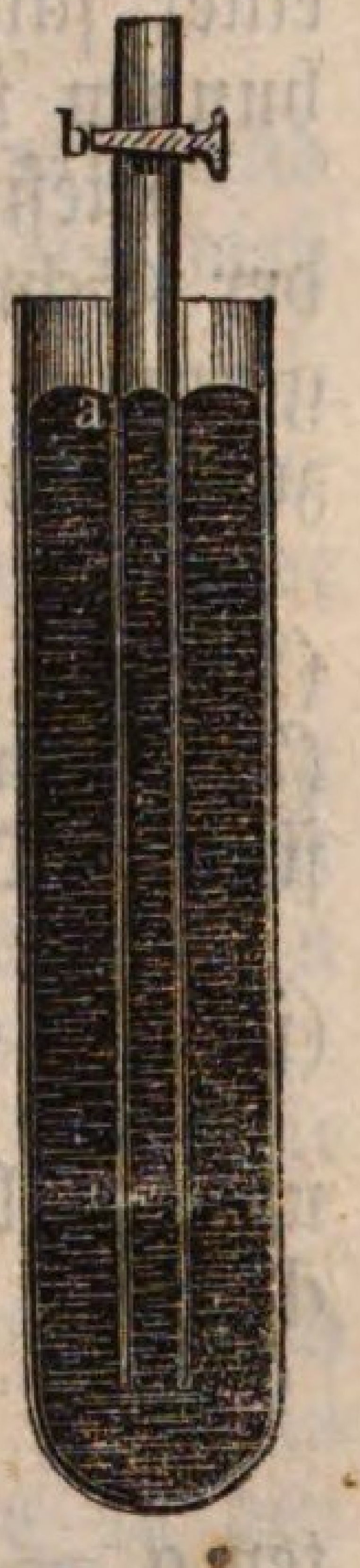
Fig. 67.



Nach Regnault's im Jahre 1845 angestellten Versuchen wächst die Dichtigkeit etwas stärker als die comprimirende Kraft und hängt außerdem noch von der Temperatur ab.

Dieses von Boyle 1660 und von Mariotte 1676 gefundene „Mariotte'sche Gesetz" gilt auch ziemlich genau für alle andern permanenten Gase, für die coërcibeln jedoch nur innerhalb gewisser Grenzen; auch sie werden stärker comprimirt, als das Mariotte'sche Gesetz angiebt.

Fig. 68.



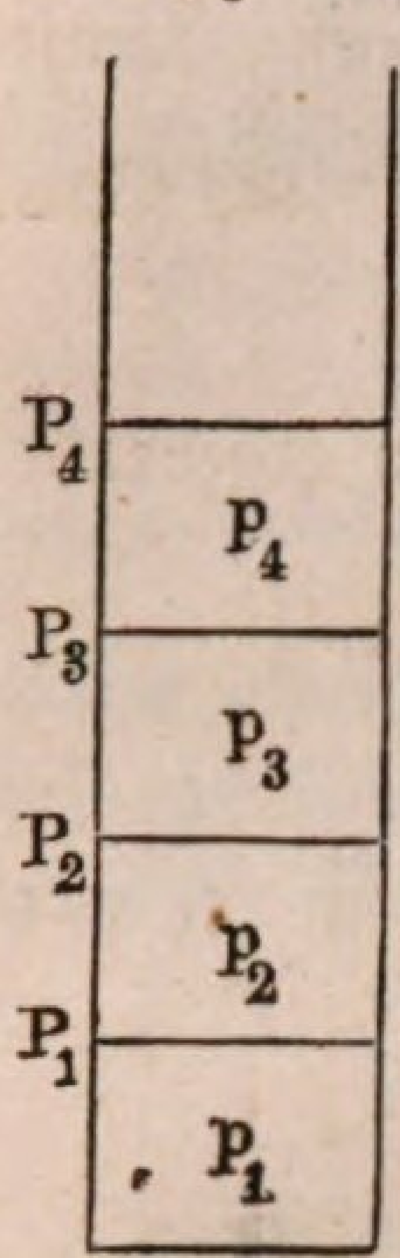
Um das Gesetz für verdünnte Luft nachzuweisen, bedient man sich einer langen, genau calibrirten Röhre (Fig. 68), welche in ein hohes Gefäß mit Quecksilber gesenkt wird. Schließt man dann die Röhre bei b luftdicht und zieht die Röhre etwas heraus, so muß das innere Quecksilber sich etwas über das äußere erheben, und die Beobachtung zeigt, daß, wenn der Abstand der Niveau's gleich n″ ist, die innere Luft also nur einen Druck von (28 — n)″ Quecksilber zu tragen hat, der Raum, in welchen sie sich ausgedehnt hat, $\frac{28}{28 - n}$ ab lang, d. h. dem Luftdruck umgekehrt proportional ist.

Wenn z. B. $n = 7$, dann ist das Volumen der Luft $1\frac{1}{3}$ mal so groß, als es war; ist $n = 14$, dann ist es 2 mal so groß; ist $n = 21$, dann ist es 4 mal so groß, als es war.

§ 64. Daß mit der Erhebung über den Horizont der Luftdruck, und mit ihm auch der Barometerstand abnehmen muß, erkannte und constatirte schon Pascal (auf dem Thurme der Kirche St. Jacques zu Paris 1648 und sein Schwager Perrier auf dem 4560 Par. ′ hohen Puy de Dome). Welcher Art die Abhängigkeit des Barometerstandes von der Höhe über den Horizont ist, läßt sich nun mittelst des Mariotte'schen Gesetzes finden.

Denkt man sich nämlich eine verticale Luftsäule in gleich hohe Schichten zerlegt, die man so niedrig annehmen muß, daß jede einzelne derselben innerhalb ihrer selbst überall dieselbe Dichtigkeit hat,

Fig. 69.



und bezeichnet man von der Erdoberfläche an die Dichtigkeit der 1sten, 2ten ..... nten mit d_1, d_2 ..... d_n (Fig. 69), ihre Gewichte mit p_1, p_2 .... p_n, die Gewichte der auf ihnen lastenden Luftsäulen mit P_1, P_2, P_3 .... P_n: so ist

$d_1 : d_n = p_1 : p_n$ nach § 7 extr. und

$P_1 : P_n = d_1 : d_n$ nach dem Mariotte'schen Gesetz,

3tens $p_1 : p_n = P_1 : P_n$

und $p_1 + P_1 : P_1 = p_n + P_n : P_n$.

Nun ist $p_n + P_n = P_{n-1}$ und demnach $p_1 + P^1 = P_0$, d. i. gleich dem Gewicht der auf der Erdoberfläche ruhenden Luftsäule, also $P_0 : P_1 = P_{n-1} : P_n$ und $P_n = \frac{P_1}{P_0} . P_{n-1}$ oder, wenn man der Kürze wegen $\frac{P_1}{P_0}$ mit q bezeichnet, $P_n = q . P_{n-1}$. Setzt man nun für n der Reihe nach die Zahlen 1, 2, 3 ....., so erhält man $P_1 = q . P_0$, $P_2 = q . P_1 = q^2 . P_0$, $P_3 = q . P_2 = q^3 . P_0$ u. s. f. Es sind also die Größen P_1, P_2, P_3 ..... und demnach die ihnen proportionirten Dichtigkeiten d_1, d_2, d_3 ..... die Glieder einer fallenden geometrischen Reihe, während die zugehörigen Erhebungen über den Horizont eine arithmetische Reihe bilden.

Dieß ist der präciser ausgedrückte Sinn der in § 60 extr. aus der Schwere und der Zusammendrückbarkeit der Luft gezogenen Folgerung, daß die Dichtigkeit der Luft mit der Erhebung über den Horizont stetig abnimmt.

Nun ist es erfahrungsmäßg, daß, wenn man sich vom Horizont (Niveau des Meeres, Barometerstand 28″) aus um etwa 74 Par. F. (73,5) erhebt, das Barometer um 1‴, also von 336‴ auf 335‴ sinkt. Denkt man sich diese Luftsäule in 74 gleich hohe Schichten (jede zu 1′ Höhe) zerlegt, so ist die Dichtigkeit der obersten $\frac{335}{336} . d_1$ und zugleich das 74ste Glied einer geometrischen Reihe, deren 1stes d_1 ist. Man erhält also nach einer bekannten Formel den Exponenten $q = \sqrt[73]{\frac{335}{336}} = 0{,}99959$, und man kann, wenn man sich die Reihe fortgesetzt denkt, für jedes beliebige u (letztes Glied) das zugehörige n (Gliederzahl) finden.

Bei einem Barometerstande von 25″ 8‴, d. i. 308‴, ergiebt sich n = 2131, also eine Höhe von 2131′. Macht man in einer Säule von 73,5 Fuß 294 Schichten von ¼′ Höhe, so ergiebt sich n = 8549, also eine Höhe von 2137 Fuß.

Für Rechnungen in französischem Maß ist das Factum zu Grunde zu legen, daß man sich um 11,5 Meter (1 Meter = 3,1862 Prß. F.) erheben muß, damit das Barometer um 1 Millimeter ($1^{mm} = \frac{1}{1000}$ Meter), also von 760^{mm} (28 Par. Zoll) auf 759^{mm} herabgehen.

Unmittelbarer noch erhält man n durch die aus $P_n = q^n . P_o$ sich ergebende Gleichung

$$n = \frac{\log P_n - \log P_o}{\log q} = \frac{\log P_o - \log P_n}{\log P_o - \log P_1},$$

in welcher $\frac{1}{\log P_o - \log P_1}$ für Schichten von 1' Höhe = 56390 ist, so daß man hat $n = 56390 . \log \frac{P_o}{P_n}$.

Will man die Erhebung eines Punktes n' über m', so braucht man nur die Gleichungen $n = 56390 \log \frac{P_o}{P_n}$ und $m = 56390 . \log \frac{P_o}{P_m}$ von einander zu subtrahiren. Man erhält $n - m = 56390 . \log \frac{P_m}{P_n}$.

Die Formel bedarf noch mehrfacher Correctionen, weil in ihr die Luft als völlig trocken und unbewegt und von überall gleicher Temperatur, und die Schwere als überall gleich stark wirkend vorausgesetzt ist. Diese Bedingungen sind aber niemals erfüllt.

§ 65. Es ist bereits angedeutet worden, daß auch an einem und demselben Orte der Barometerstand variirt; und zwar geschieht dieß um so stärker, je tiefer der Ort, und je näher an den Polen er liegt.

In der Nähe des Aequators (Peru) beträgt der Spielraum (einzelne Ausnahmsfälle abgerechnet) nur etwa eine Linie, in unserer Breite dagegen schon ungefähr 2 Zoll.

Einige dieser Variationen haben ihren Grund in der Aenderung der Wärme, in so fern sie Quecksilber und Scala ungleich ausdehnt (cf. § 130); man muß also, um die Wirkung des Luftdrucks rein zu erhalten und den Barometerstand mit andern vergleichen zu können, denselben vom Einfluß der Wärme unabhängig darstellen und sie sämmtlich auf eine Normaltemperatur (0°) reduciren.

Die anderen Veränderungen unterscheidet man in periodisch regelmäßige und unregelmäßige. Die ersteren, welche noch in tägliche und jährliche zerfallen, treten am entschiedensten in den Tropen hervor. Das Barometer erreicht nämlich in der Nähe des Aequators (bis zu den Wendekreisen) täglich ungefähr um 10 Uhr Morgens und 10 Uhr Abends ein Maximum, und um 4 Uhr Nachmittags und um 4 Uhr Morgens ein Minimum.

Aber auch außerhalb der Wendekreise kann man solche Maxima und Minima erkennen, jedoch nur aus einer großen Anzahl von Beobachtungen, welche man an den einzelnen Tagesstunden (um 8 Uhr,

9 Uhr 2c.) angestellt hat, und deren arithmetisches Mittel man berechnet.

Vergleicht man die mittleren Barometerstände der einzelnen Tage, so findet man, daß das Barometer im Winter durchschnittlich höher steht als im Sommer.

Die jährlichen mittleren Barometerstände dagegen bleiben ziemlich dieselben, so daß man im Großen und Ganzen den Luftdruck eines Ortes als constant ansehen kann.

Reducirt man die jährlichen mittleren Barometerstände verschiedener Orte auf das Niveau des Meeres, so zeigt sich, bei der Vergleichung derselben mit einander und den im Niveau des Meeres beobachteten, daß dieser Barometerstand sich nach der Breite und Länge des Ortes richtet.

Er beträgt am Aequator 338 bis 339 Linien, wächst von da bis etwa zum 33sten Breitengrad, nimmt dann bis etwa zum 65sten ab und wächst in höheren Breiten von neuem.

Die wesentlichste Ursache der Schwankungen des Barometerstandes ist die Veränderung der Wärme, nächst ihr (in viel geringerem Maße) die Veränderung im Feuchtigkeitszustande der Atmosphäre. Durch die Wärme wird nämlich die Luft leichter; sie erhebt sich also über die umgebende kältere Luft und fließt in der Höhe nach den Seiten zu ab, so daß sich an der wärmeren Stelle der Druck vermindern muß. Bei Abnahme der Temperatur tritt natürlich das Entgegengesetzte ein. Hiermit im Einklange ist die Thatsache, daß am Aequator, wo die Temperatur sich nur wenig ändert, auch die Oscillationen des Barometers sehr unbedeutend sind.

Der Einfluß des Wassergehaltes der Luft ist noch nicht vollständig ermittelt, in so fern man das Gesetz noch nicht kennt, nach welchem sich die Expansivkraft der Wasserdünste ändert; er kann aber, da er im Vergleich zu dem Einfluß der Wärme sehr gering ist, vernachlässigt oder in seiner mittleren Stärke in Rechnung gebracht werden.

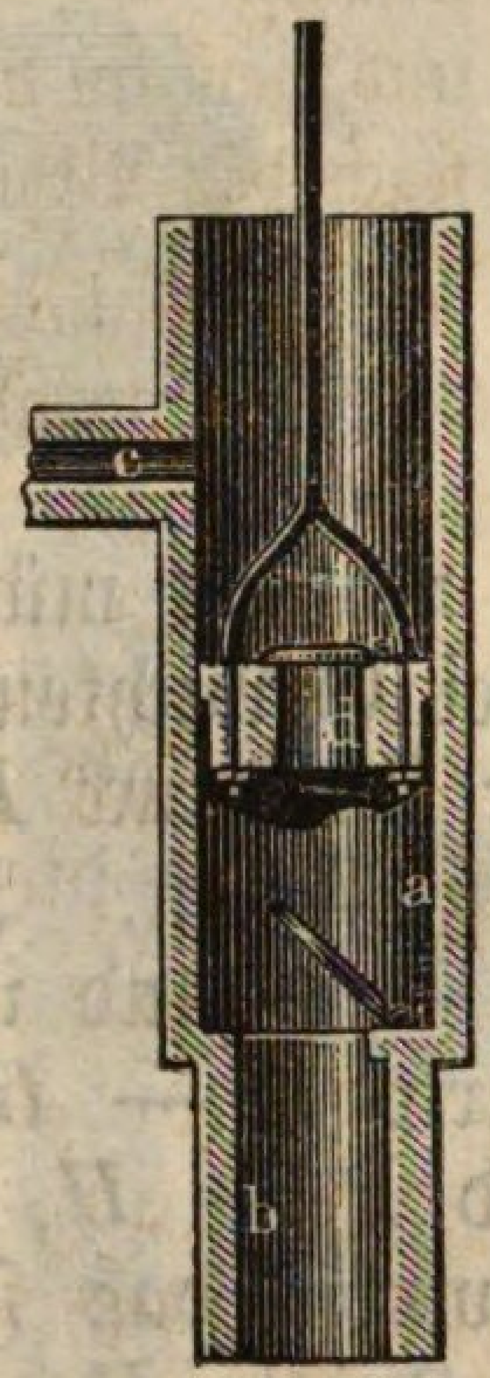
Viel bedeutender als die periodischen Veränderungen des Barometerstandes sind die unregelmäßigen, namentlich außerhalb der Wendekreise. Auch diese beruhen vorzugsweise auf Temperaturänderungen und den durch sie hervorgerufenen Bewegungen der Luft. Mit der Aenderung der Windrichtung hängt aber die des Wetters innig zusammen. Bei uns (im mittleren Europa) bringen die Südwestwinde, da sie, von wärmeren Meeren kommend, viel Wasser mit sich führen, in der Regel Regen oder doch trübes Wetter, Nordostwinde dagegen heiteres; es muß aber bei Südwestwinden, da sie wärmere Luft bringen, das Barometer durchschnittlich tiefer, bei den andern höher stehen. Also wird man im Allgemeinen aus Schwankungen des Barometers auf Umsetzung des Windes und demnach auf Aenderung des Wetters

schließen dürfen. Heftige Bewegungen des Barometers deuten immer auf starke Luftströmungen, Stürme.

In so weit kann das Barometer wohl als Wetteranzeiger (Wetterglas) angesehen werden; der bloße Stand desselben aber („Schön, Veränderlich“ ꝛc.) entscheidet über das kommende Wetter durchaus nicht.

§ 66. Auf dem Druck der Luft beruhen zunächst 1) die Wasserpumpen, welche zur Hebung des Wassers dienen und entweder Saugpumpen oder Druckpumpen sind, 2) der gekrümmte Heber, 3) der Stechheber und 4) die Handspritze.

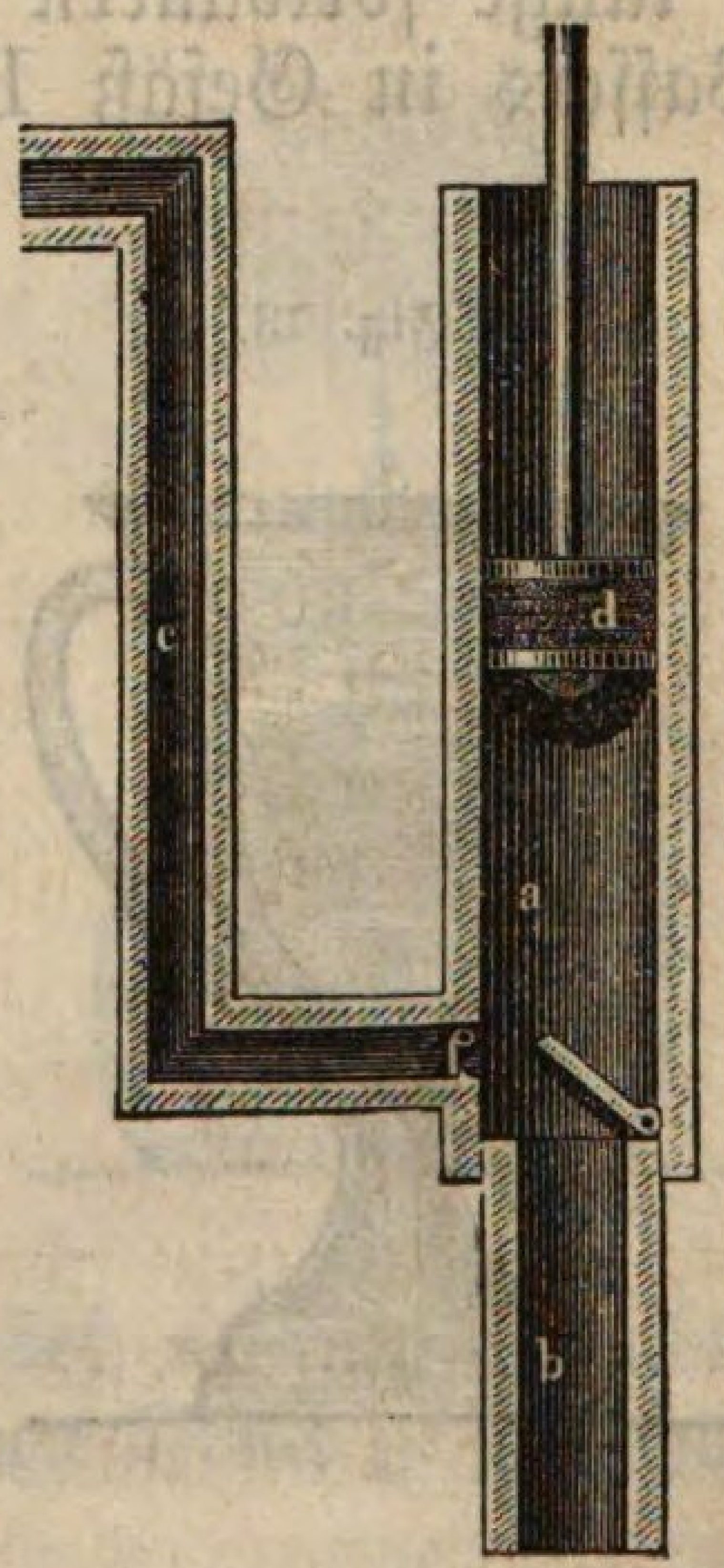
Fig. 70.



1) Die Saugpumpen bestehen aus einem Hohlcylinder a (Stiefel, § Fig. 70), in welchem sich ein durchbohrter Kolben (Embolus) luftdicht auf und nieder bewegt, der Saugröhre b, welche in das zu hebende Wasser hinabgeht, und zwei nach oben sich öffnenden Ventilen (in der Figur Klappenventilen), nämlich an dem oberen Ende der Saugröhre und der oberen oder unteren Grundfläche des Kolbens. Ueber letzterem befindet sich die Ausgußröhre c. Hieraus läßt sich die Wirksamkeit des Apparats bei Bewegung des Kolbens leicht erklären. Zugleich sieht man, daß das Ventil an der Saugröhre, selbst bei der günstigsten Construction, weniger als 33 Prß. F. über dem Niveau des zu hebenden Wassers sich befinden muß.

(Die Nichtbeachtnng dieser Bedingung führte zum Torricelli'schen Versuch und zur Entdeckung des Luftdrucks.)

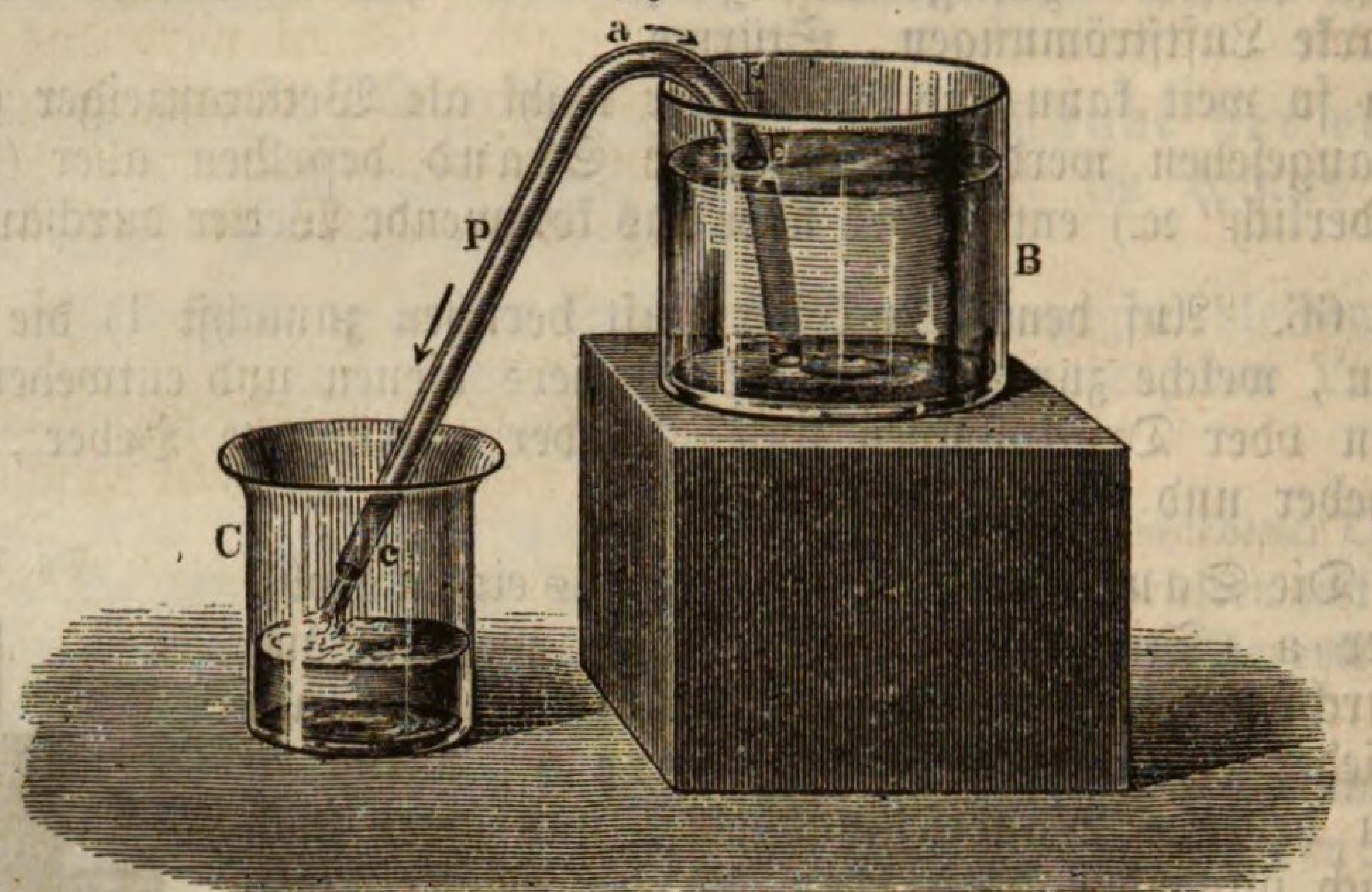
Fig. 71.



Die Druckpumpen, deren Einrichtung aus Fig. 71 ohne weiteres ersichtlich ist, machen von dem Druck der Luft nur geringen Gebrauch; sie dienen dazu, das Wasser beliebig hoch zu heben.

2) Der gekrümmte Heber (sipho, oder diabetes Heronis), eine Vorrichtung, um eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, von ihren unteren Schichten aus, über Höhen hinweg aus einem Gefäße in ein anderes zu leiten. Er besteht in einer beiderseits offenen, in zwei ungleich lange Arme umgebogenen Röhre bac (Fig. 72), welche mit Wasser gefüllt und umgestürzt mit dem kürzeren Schenkel ab in das Wasser gesenkt wird, welches übergeleitet werden soll. Das Abfließen des Wassers hat alsdann folgenden Grund:

Fig. 72.



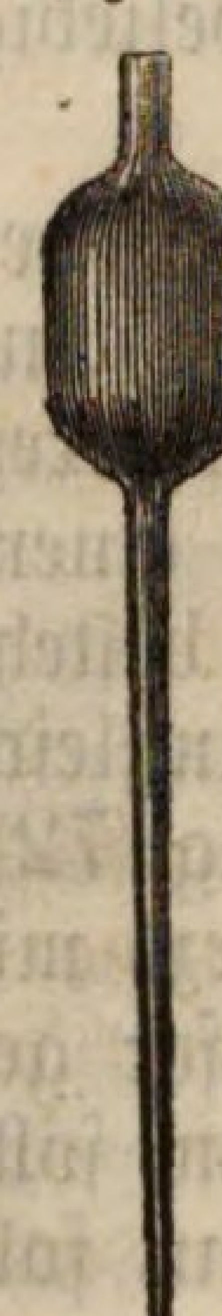
Vorerst müssen die in ab und ac befindlichen Wassermengen mit zwei Gewichten p und P ($P > p$) abwärts drücken; ihnen stellt sich der Luftdruck Π entgegen, welcher $> p$ ist, so lange $ab < 33$ Prß. F. ist. In Folge dessen wirkt also in ba aufwärts ein Druck $\Pi - p$ und in ca aufwärts $\Pi - P$ oder, wenn $P > \Pi$ ist, abwärts $P - \Pi$. In letzterem Falle wirken die beiden Kräfte $\Pi - p$ und $P - \Pi$ in der Heberröhre nach derselben Richtung bac und bewirken das Fließen des Hebers. Im 1sten Fall begegnen einander die Kräfte $\Pi - p$ und $\Pi - P$, von denen die erste die größere ist; die Resultante wird also, wie vorher, eine in der Richtung bac wirkende Kraft $P - p$ sein.

Aus dieser Erörterung folgt, daß das Fließen des Wassers nur so lange fortdauern wird, als $P > p$, d. h. als das Niveau des Wassers in Gefäß B über dem in C sich bildenden Niveau liegt — und natürlich nur so lange, als der kürzere Schenkel noch ins Wasser hineinreicht.

Fig. 73.



Fig. 74.



Wasserleitungen, die aber — welche? Höhe nicht überschreiten dürfen. Intermittirende Brunnen. Der Vexirbecher (Fig. 73) u. s. w. — Wie kann man den Heber füllen?

3) Der Stechheber, eine lange, enge, in der Mitte bedeutend erweiterte und an beiden Enden offene Röhre (Fig. 74), deren man sich bedient, um von einer Flüssigkeit aus beliebigen Tiefen Proben zu nehmen.

Man senkt ihn in die Flüssigkeit, füllt ihn durch Saugen am obern Ende und schließt dasselbe mit dem Finger. Dann wird das Ausfließen des Wassers durch den aufwärts wirkenden Druck der Luft so lange gehindert, als das obere Ende geschlossen ist.

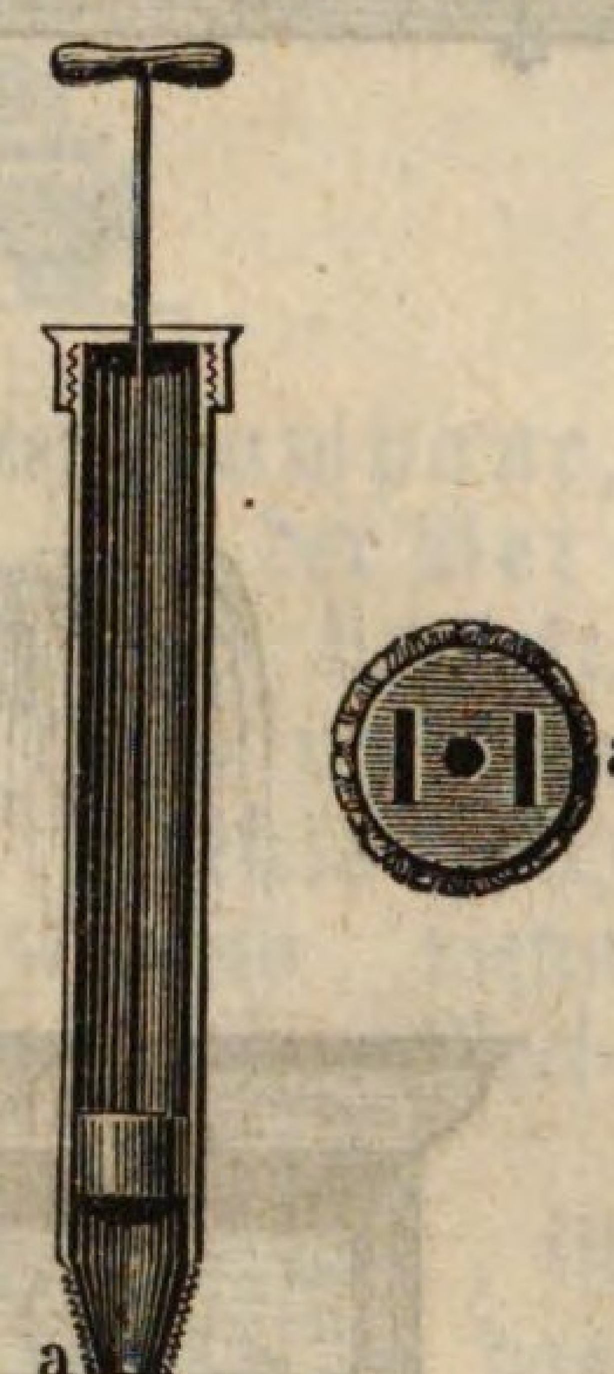
(Was hat man bei weiteren Röhren zu thun, um das Ausfließen zu hindern?)

(Saugen, Trinken, Athmen, Rauchen.)

4) Die Handspritze, bekanntlich eine cylindrische Röhre, die in eine Spitze endigt, und in welcher sich ein luftdicht anschließender Kolben bewegen läßt.

§ 67. Die Compressionspumpe dient dazu, die Luft in einem Gefäße dadurch zu verdichten, daß man immer mehr Luft in dasselbe treibt. Sie besteht (Fig. 75) aus einem metallenen Hohlcylinder (Stiefel), in welchem ein luftdicht anschließender Kolben mittelst einer Stange auf und nieder bewegt werden kann. An dem einen Ende des Stiefels befindet sich ein sich nach außen öffnendes Ventil, in der Regel ein Blasenventil a und in der Nähe des andern Endes in der Seitenwand, um mehr als die Kolbenlänge vom Ende entfernt, eine Oeffnung.

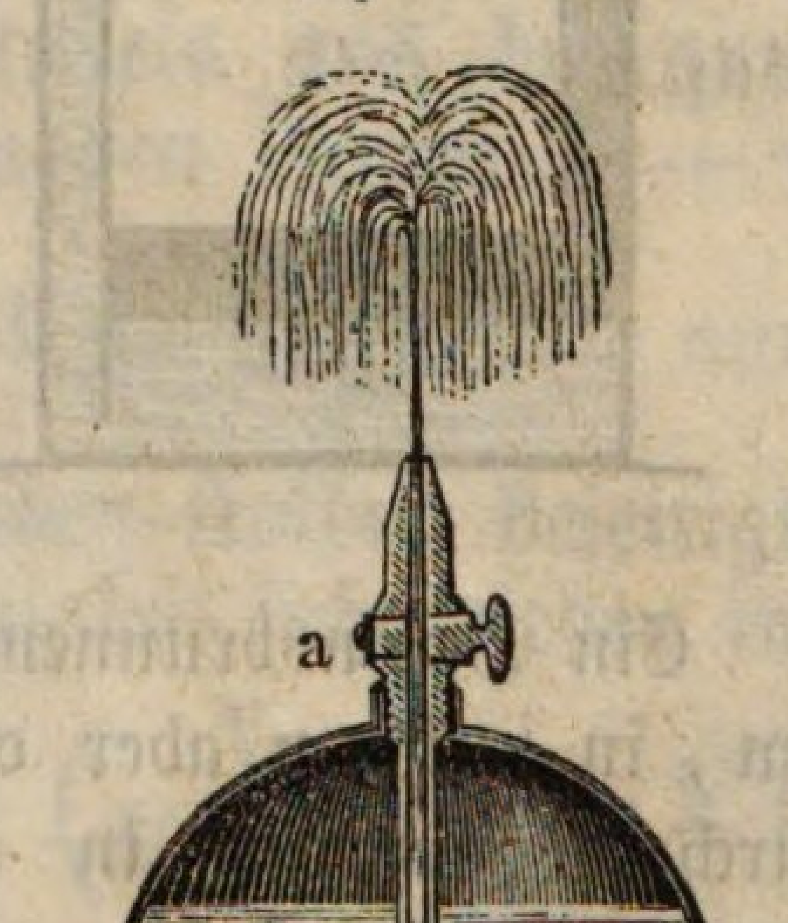
Fig. 75.



Wird nun die Pumpe bei a an dem Recipienten (d. h. dem Gefäße, in welchem man die Luft verdichten will) angeschraubt, und der Kolben bis hinter die Oeffnung zurückgezogen und nach dem Ventil hin bewegt, so wird die Luft im Recipienten verdichtet. Ist das Volumen des Recipienten V, das des Stiefels bis zur Seitenöffnung v, so ist nach n Kolbengängen die Dichtigkeit der Luft im Recipienten $\frac{V + nv}{V} . d$ (wenn d die ursprüngliche Dichtigkeit der Luft bedeutet).

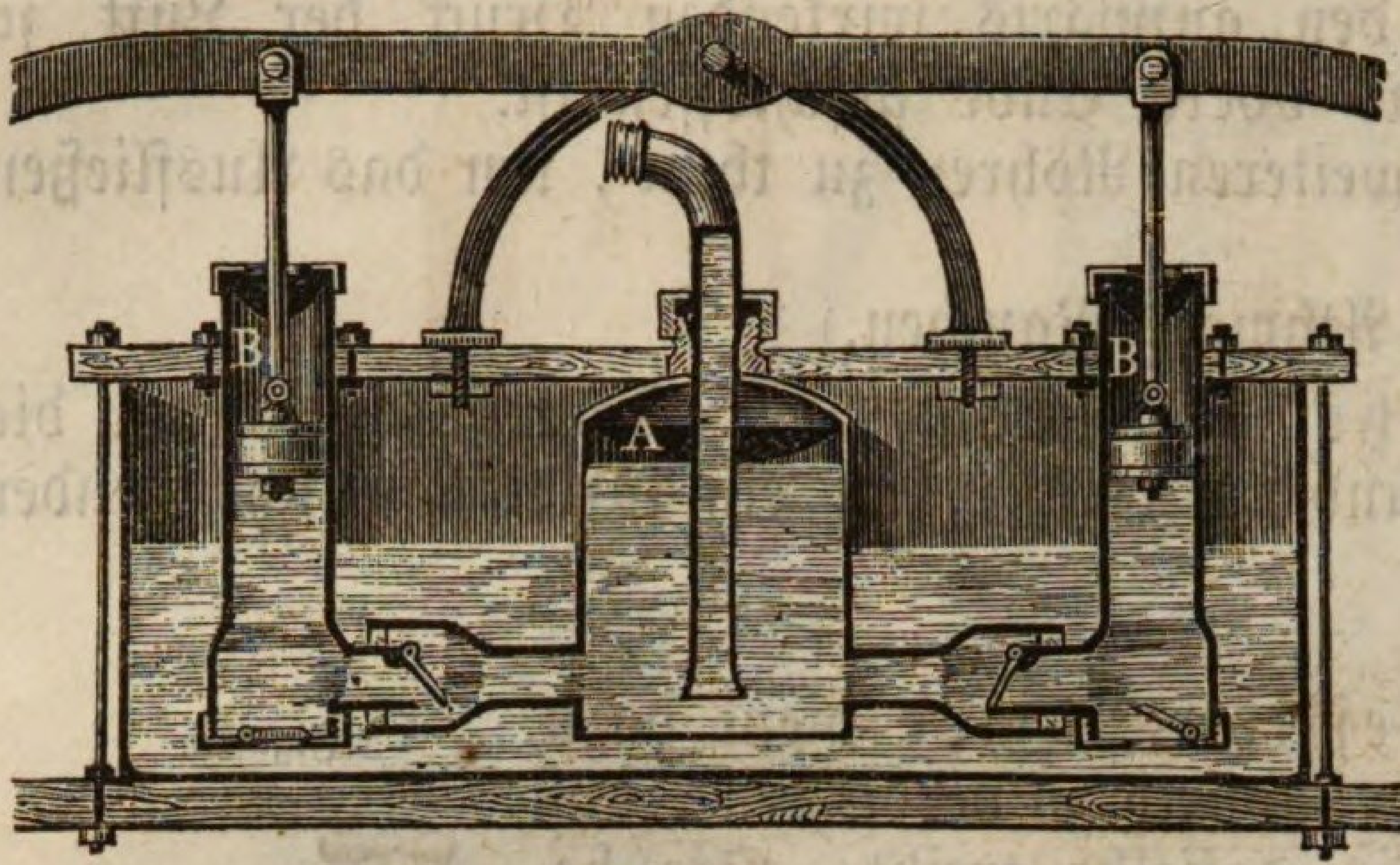
Mittelst der Compressionspumpe ladet man den Kolben der Windbüchse.

Fig. 76.



Der Heronsball, ein Gefäß, in welchem eine bis in die Nähe des Bodens reichende und bei a (Fig. 76) verschließbare Röhre luftdicht eingeschraubt wird. Füllt man den Apparat zum Theil mit Wasser und verdichtet dann die über dem Wasser befindliche Luft mittelst einer bei a angeschraubten Compressionspumpe, so wird das Wasser durch den Druck in die Höhe getrieben — wie lange?

Fig. 77.



Die große Feuerspritze (Schlauchspritze), im Wesentlichen ein großer Heronsball (Windkessel A, Fig. 77), in welchem die Luft durch zwei Druckpumpen B verdichtet wird, die in einem Gefäß mit Wasser stehn und immer mehr Wasser in den Windkessel treiben.

Die Bewegung der Ventile und ihre Wirksamkeit ist aus der Figur leicht zu ersehen.

Fig. 78.

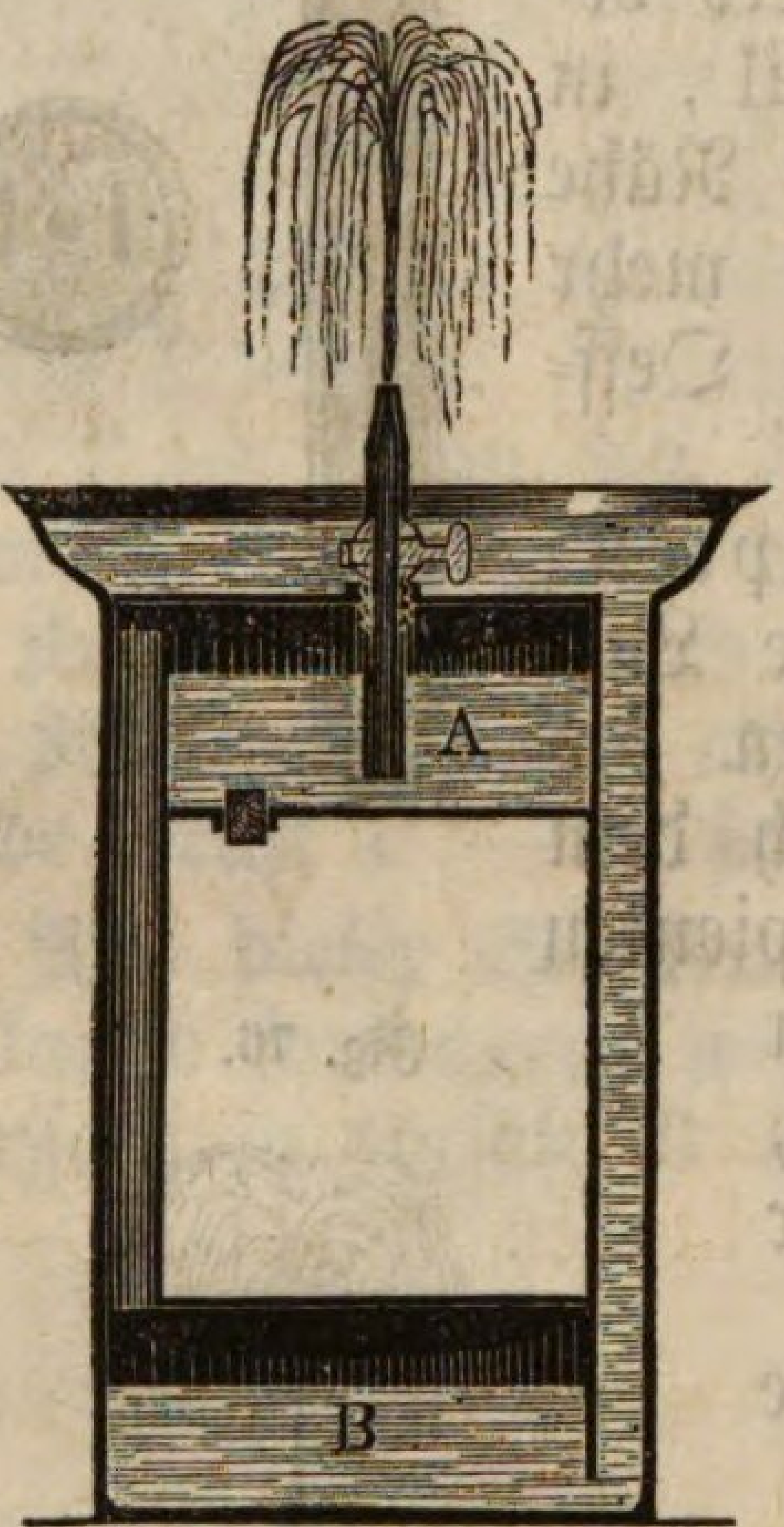


Fig. 79.



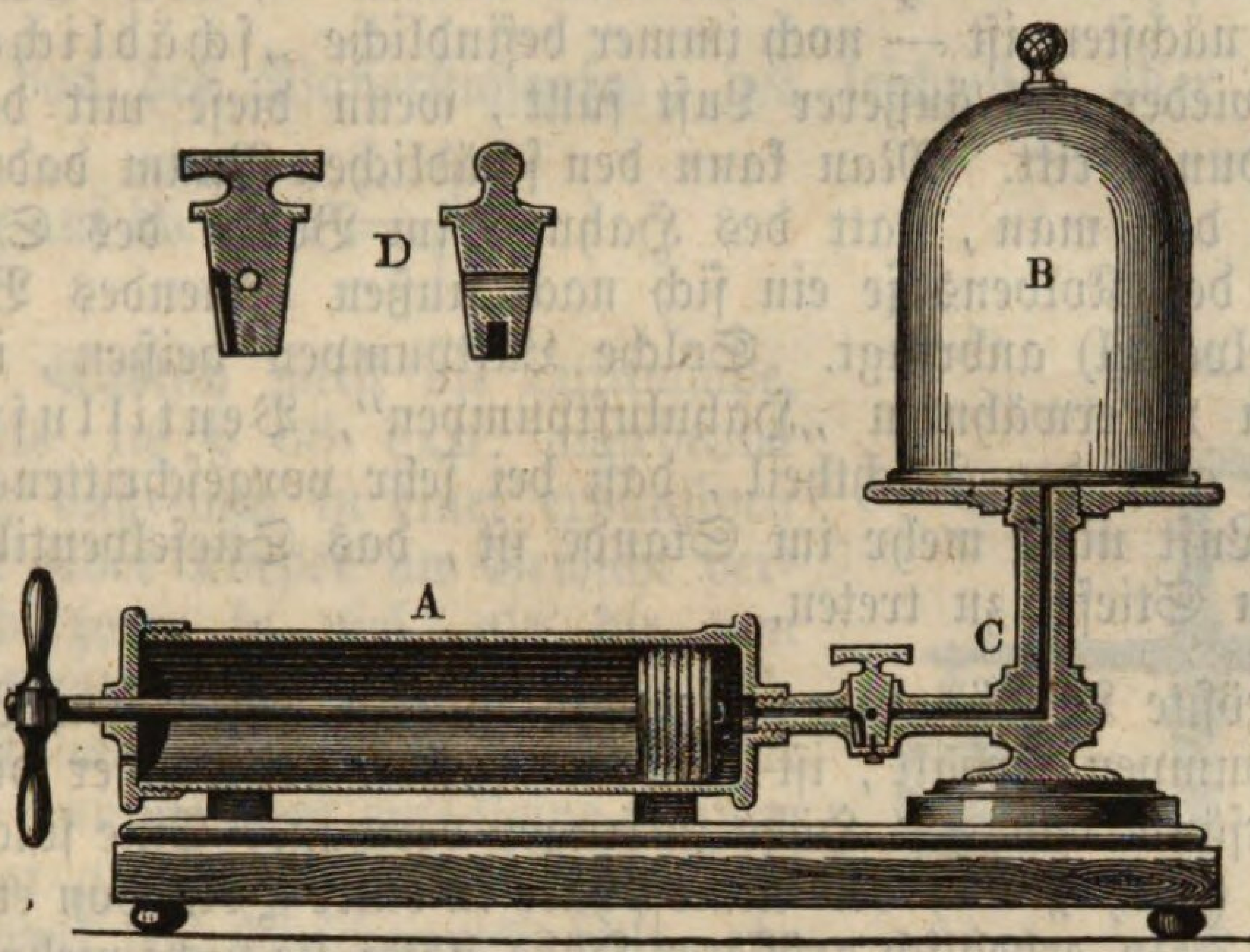
Der Heronsbrunnen besteht aus 2 Hohlgefäßen A u. B (Fig. 78), welche sich über einander befinden und mit einander durch 2 Röhren verbunden sind. Die eine von beiden beginnt im Deckel des obern Gefäßes und endet in der Nähe des Bodens des untern; die andere geht vom Deckel des untern aus und endet in der Nähe des Deckels des obern. Eine 3te, die Springröhre, befindet sich im obern Gefäße A wie beim Heronsball.

Ein Heronsbrunnen ist also, eben so wie der Heronsball, ein Springbrunnen, in welchem aber die treibende Luft dadurch verdichtet wird, daß man sie durch Wasserdruck in einen engeren Raum zusammendrängt. — Wie füllt man ihn?

Eine andere Einrichtung desselben (Fig. 79) ist aus der Figur verständlich.

§ 68. Die Luftpumpe, von Otto v. Guericke um 1650 erfunden, besteht im Wesentlichen aus einem Hohlcylinder (Stiefel A in Fig. 80), in welchem sich ein Kolben luftdicht hin und her bewegen läßt, dem

Fig. 80



Recipienten B (d. i.?), gewöhnlich eine Glasglocke, Campane, welche auf einem ebenen Teller luftdicht aufgesetzt ist, und der Verbindungsröhre C. Ein doppelt durchbohrter Hahn D bewirkt, je nach seiner Stellung, die Verbindung des Stiefels (nur) mit dem Recipienten — wenn der Kolben zurückgeht — des Stiefels (nur) mit der äußeren Luft — wenn der Kolben vorgeht — und, wenn man schließlich wieder Luft in den Recipienten lassen will, des Recipienten mit der äußeren Luft.

Die Verdünnung, welche man nach n Kolbengängen erreicht, ist — wenn V das Volumen des Recipienten (bis zum Hahn), v das Volumen des Stiefels (excl. des Kolbens) bedeutet — $\left(\frac{V}{V+v}\right)^n . d.$

Denn geht der Kolben vom Boden des Stiefels aus bis zum anderen Ende zurück, so dehnt sich die Luft V in den Raum V + v aus, ihre Dichtigkeit ist also nunmehr $\frac{V}{V+v} . d = d_,$. Wird nun die im Stiefel befindliche Luft durch den vorgehenden Kolben beseitigt, so muß bei neuem Zurückgehen desselben die Dichtigkeit sich wieder im Verhältniß von V + v : V vermindern, also = $\left(\frac{V}{V+v}\right) . d_1$, d. i. $\left(\frac{V}{V+v}\right)^2 . d$ sein u. s. w.

Man sieht also, daß mittelst der Luftpumpe niemals ein vollkommen luftleerer Raum erreicht wird (vacuum Guerickianum im Gegensatz zu v. Torricellianum). Ja es bleibt in Wirklichkeit die Verdünnung noch weit hinter der durch die Formel angegebenen zurück, weil die vorausgesetzte luftdichte Schließung nicht völlig erreichbar ist,

und der zwischen dem Hahn und dem Kolben — auch wenn er dem Hahn am nächsten ist — noch immer befindliche „schädliche Raum" sich stets wieder mit äußerer Luft füllt, wenn diese mit dem Stiefel in Verbindung tritt. Man kann den schädlichen Raum dadurch etwas beseitigen, daß man, statt des Hahns, im Boden des Stiefels und im Boden des Kolbens je ein sich nach außen öffnendes Blasenventil (oder Kegelventil) anbringt. Solche Luftpumpen heißen, im Gegensatz zu den vorerwähnten „Hahnluftpumpen", Ventilluftpumpen. Sie haben aber den Nachtheil, daß bei sehr vorgeschrittener Verdünnung die Luft nicht mehr im Stande ist, das Stiefelventil zu öffnen und in den Stiefel zu treten.

Die größte Verdünnung, die man mittelst der besten Luftpumpen (Hahnluftpumpen) erhält, ist eine 1000fache, bei welcher die Luft eine Quecksilbersäule von $\frac{1}{3}$''' Höhe zu tragen vermag. Eine solche Dichtigkeit würde (nach § 64) die Atmosphäre in einer Höhe von etwa 7 Meilen haben. In erheblich größerer Höhe hätte sie nicht mehr die Eigenschaft der Schwere, also der Körperlichkeit.

Die in dem Recipienten erlangte Verdünnung mißt man mittelst eines kleinen Heberbarometers (Barometerprobe), welches man vor dem „Exantliren" unter die Glocke gestellt hat.

Hieraus ist die Einrichtung der zweistiefligen Luftpumpen leicht zu entnehmen. — (Die Beschreibung der Quecksilber-Luftpumpen glaube ich übergehen zu müssen.)

Die hierher gehörigen Experimente mit der Luftpumpe zeigen den überwiegenden Druck der äußeren Luft (Magdeburger Halbkugeln, Quecksilber-Regen, Zersprengen von Blasen, Druck nach allen Richtungen ꝛc.), den mangelnden oder verminderten Luftdruck im Innern (Barometerprobe, Heronsball, Wasser unter der Campane, Fallversuche u. s. w.) und den Gewichtsverlust der Körper in der Luft (Wage-Manometer, § 70).

Außerdem zeigt man, daß in sehr verdünnter Luft der Schall unhörbar wird (§ 87), daß Flüssigkeiten sehr rasch verdunsten (§ 138, Wärmebindung bis zum Gefrieren des Wassers), und daß das Verbrennen und Athmen unmöglich ist. (Ueber das Verhalten des electrischen Funkens in höchstverdünnter Luft siehe § 162 und § 179.)

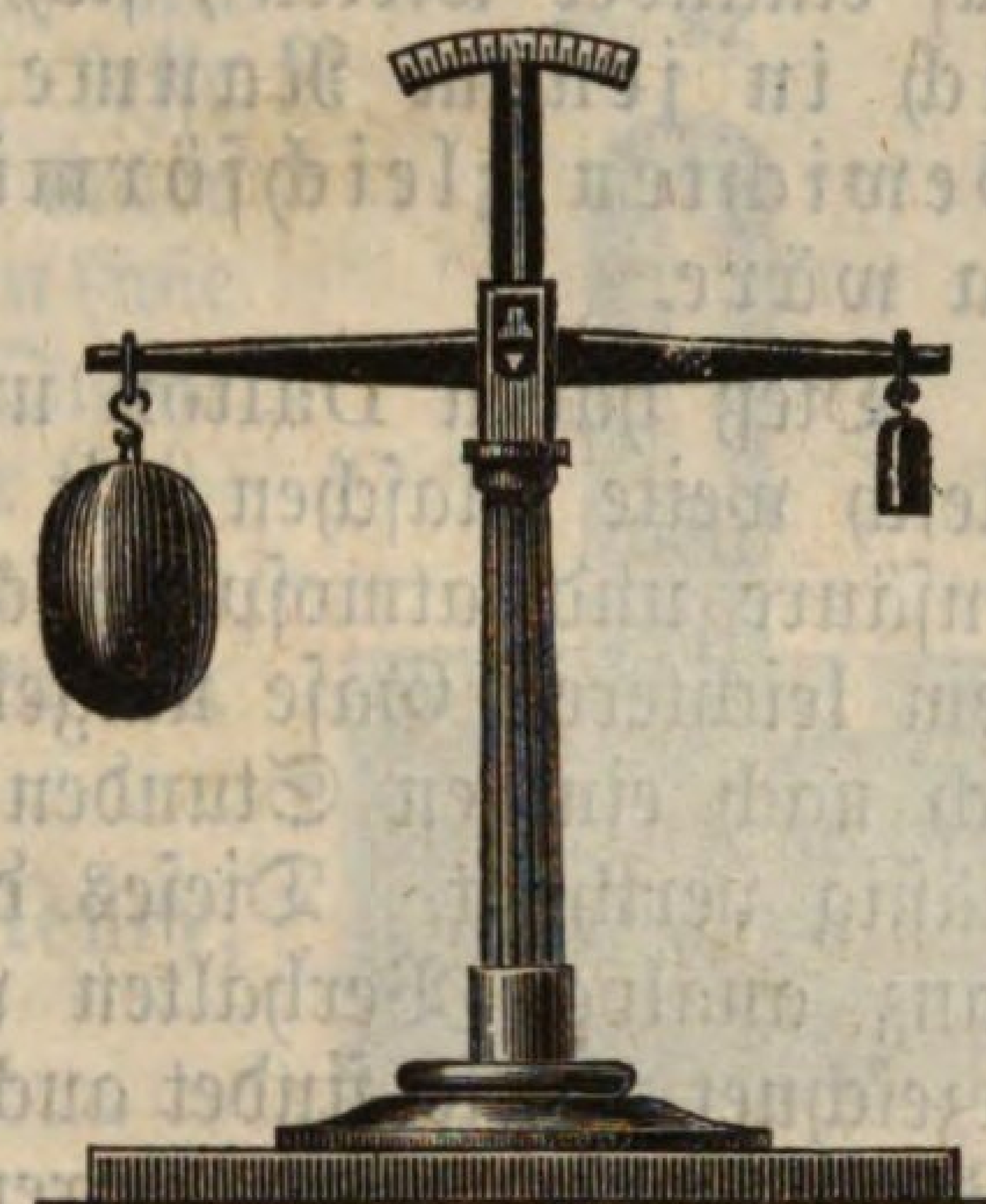
§ 69. Die Luftpumpe dient auch dazu, die specifischen Gewichte der Luftarten in Beziehung auf die atmosphärische Luft und das specifische Gewicht dieser in Bezug auf Wasser zu bestimmen.

Man braucht nur einen großen gläsernen Ballon einmal luftleer, dann mit atmosphärischer Luft, oder einem andern Gase, oder mit Wasser gefüllt, abzuwägen. Man erhält so das specifische Gewicht

der Luft gegen Wasser (bei 0° Wärme und 28″ Barometerstand) = $\frac{1}{770}$ und das des Wasserstoffgases, des leichtesten aller Körper, in Beziehung auf die Luft = $\frac{1}{14}$.

§ 70. Endlich weist die Luftpumpe, wie bereits in § 68 extr. angedeutet ist, nach, daß auch in einer expansiven Flüssigkeit jeder Körper an Gewicht verliert, und zwar so viel, als die von ihm verdrängte Flüssigkeit wiegt (§ 55).

Fig. 81.



Bringt man nämlich einen Apparat (Fig. 81), an welchem eine kleine massive Kugel einer großen Hohlkugel bei mittlerem Luftdruck das Gleichgewicht hält, ein Wagemanometer oder Guericke'sches Manometer (μανός dünn) unter die Luftpumpe, so sinkt die Hohlkugel bei beginnender Verdünnung der Luft. Es sind nämlich die Gewichtsverluste der beiden Kugeln in verdünnter Luft geringer geworden, aber der der größeren Kugel in höherem Maße; sie ist also im Vergleich zur andern schwerer geworden.

Aus diesem Gewichtsverlust folgt, daß ein Körper, welcher weniger wiegt als die von ihm verdrängte Luft (§ 55,3) aufsteigen muß, aber natürlich nur so weit, bis er in eine Luftschicht kommt, wo sein Gewicht dem der allda verdrängten Luft gleich ist. Solche Körper erhält man, wenn man eine dünne, aber dichte und feste Hülle mit einem sehr leichten Gase (z. B. Wasserstoffgas) füllt; sie heißen bekanntlich Luftballons und werden unterschieden in Charlièren (Professor Charles) und Montgolfièren (Joseph und Etienne Montgolfier), je nachdem sie mit Wasserstoffgas (oder mit Kohlenwasserstoffgas), oder mit erwärmter und dadurch verdünnter, leichter Luft gefüllt sind. Die Differenz zwischen dem Gewicht des gefüllten Ballons und dem Gewicht der von ihm verdrängten Luft ist die Kraft, mit welcher er sich zu erheben beginnt, und heißt seine Steigkraft. Aus derselben läßt sich die Höhe berechnen, bis zu welcher ein Luftballon sich zu erheben vermag.

Als Stoff zur Hülle wählt man gefirnißten Taffet, für sehr kleine Ballons Goldschlägerhaut, Collodium, das sogenannte Schafhäutchen oder das Gewebe der Weberaupe.

Die 1ste Montgolfière stieg zu Annonay auf am 5. Juni 1783, die 1ste Charlière zu Paris am 27. August desselben Jahres.

Die Ersten, welche sich einem Luftschiff (Aërostaten) anvertrauten, waren Pilatre de Rozier und der Marquis d'Arlandes, bald nach ihnen Robert und Charles. Die höchste Höhe (22400′) unter allen Aëronauten hat Gay-Lussac im Jahre 1804 erreicht. — Als Erfinder des Fallschirmes sind Le Normand und Blanchard zu nennen.

§ 71. Wenn verschiedene Luftarten, welche nicht chemisch auf einander wirken, sich in einem Raume befinden, so breiten sie sich in jenem Raume unabhängig von ihren specifischen Gewichten gleichförmig aus, ganz so, als ob jede allein da wäre.

Dieß haben Dalton und Berthollet nachgewiesen, indem sie zwei gleich weite Flaschen mit verschieden schweren Gasen füllten (mit Kohlensäure und atmosphärischer Luft oder Wasserstoffgas) und die mit dem leichteren Gase umgekehrt über die andere stülpten; dann zeigten sich nach einigen Stunden beide Gase in dem ganzen Raume gleichmäßig vertheilt. Dieses der Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten (§ 54) ganz analoge Verhalten wird mit demselben Namen „Diffusion" bezeichnet. Sie findet auch noch statt, wenn die Gase durch eine poröse Wand von einander getrennt sind.

Aus diesem Verhalten luftförmiger Körper erklärt es sich, daß in der Atmosphäre, welche ein Gemenge von verschieden schweren Gasen (Stickstoff, Sauerstoff, Kohlensäure, Wasserdunst) ist, alle diese Bestandtheile gleichförmig vertheilt sind.

§ 72. Luftförmige Körper werden sowohl von festen, als von flüssigen Körpern absorbirt (verschluckt).

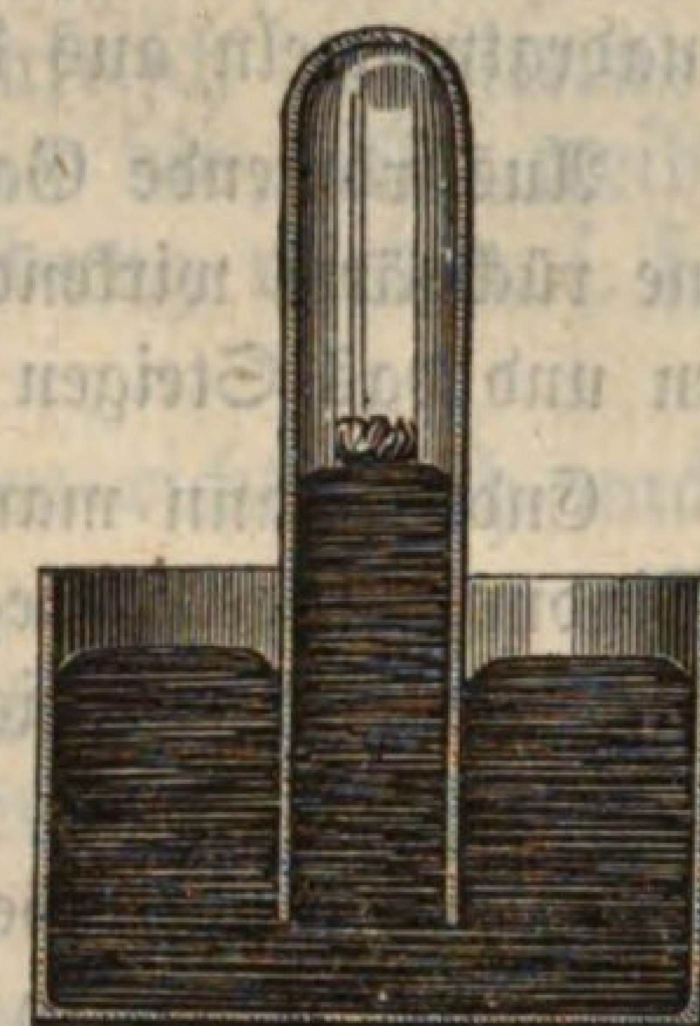
Unter den festen Körpern sind es namentlich die porösen, welche Gase stark absorbiren und verdichten und sich selbst dabei um so stärker erwärmen, je mehr Gas sie verschluckt haben. So absorbirt geglühte, frisch gelöschte Kohle die meisten Gase, namentlich die coërcibeln, und Platinschwamm den Sauerstoff sehr stark. (Döbereiner'sche Platin-Zündmaschine). Aehnliches bewirkt, nur in viel geringerem Grade, Meerschaum, Wolle, Seide u. a. K. Aber auch alle anderen festen Körper ziehen Gase, in welchen sie sich befinden, an sich heran und verdichten sie und umgeben sich so vollständig mit einer Gas-Atmosphäre. (Moser'sche Bilder.) Namentlich ziehen viele Körper (Chlorcalcium, Pottasche, Thon, Kochsalz, Fischbein, Holz, Haare) den Wasserdampf an sich, welcher dadurch condensirt, d. h. tropfbar-flüssig wird. Solche Körper heißen hygroskopisch.

Von der Kohle werden Gase um so weniger absorbirt, je geringer ihre Expansivkraft, und je höher die Temperatur der Kohle ist. Deshalb giebt Kohle, welche Gase absorbirt hat, dieselben wieder ab, wenn sie unter die Luftpumpe gebracht oder geglüht wird.

Auch die Absorptionsfähigkeit der Flüssigkeiten ist sehr ungleich; sie hängt sowohl von ihrer Natur, als von der der Gase ab und unterliegt nur dem Gesetz, daß die absorbirten Gasmengen (ceteris paribus) dem Drucke, unter welchem sie sich befinden, proportionirt sind.

Als Fundamental-Versuch ist folgender zu erwähnen:

Fig. 82.



Man fülle eine einerseits offene Röhre mit Quecksilber, stürze sie in Quecksilber um, lasse in der Röhre kohlensaures Gas und eine unter Quecksilber gelöschte glühende Kohle aufsteigen (wie Fig. 82 zeigt), so erhebt sich sehr bald das Quecksilber bis oben hinauf, indem die Kohle die Kohlensäure absorbirt. Dasselbe tritt ein, wenn man statt der Kohlensäure Ammoniakgas und statt der Kohle Wasser nimmt.

(Priestley, Th. de Saussure, Henry, Bunsen.)

§ 73. Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Gas in den leeren Raum strömt, kann offenbar nach der Formel $v = \sqrt{2gh}$ (§ 53) berechnet werden.

Betrachtet man zunächst die atmosphärische Luft und nimmt man an, daß sie sich bei einem Barometerstand von 28″ befindet: so ist der Druck, den sie erleidet, gleich dem Gewicht einer Wassersäule von 33 Prß. F. oder, da Wasser 770 mal so schwer als jene Luft ist, gleich dem Gewicht einer (homogenen) Luftsäule von 33.770′ Höhe, Demnach $v = \sqrt{2 . 31\frac{1}{4} . 33 . 770'} = 1260$ Pr. F.

In Wirklichkeit ist sie geringer, schon deswegen, weil ein luftleerer Raum nur auf eine sehr kurze Zeit herzustellen wäre. Für andere Gase hat man, wenn ihr specifisches Gewicht in Bezug auf Wasser s, und h die Höhe der Wassersäule ist, welche der Expansivkraft des Gases das Gleichgewicht hält, für 33.770 offenbar $\frac{h}{s}$ zu setzen. Man erhält also allgemein $v = \sqrt{2 . 31\frac{1}{4} . \frac{h}{s}}$. (α)

Da nun bei allen Gasen h und s einander direct proportionirt sind (Mariottesches Gesetz § 63), so ist $\frac{h}{s}$ eine constante Größe, demnach die Ausflußgeschwindigkeit selbst constant, unter welchem Drucke auch sich das Gas befinden möge.

Außerdem folgt aus der Gleichung (α), daß sich die Ausflußgeschwindigkeiten verschiedener Gase bei gleichem Druck umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten verhalten.

Strömt das Gas nicht in leeren Raum, sondern in weniger dichtes Gas, so muß man als treibende Kraft die Differenz der Expansivkräfte beider Gase nehmen.

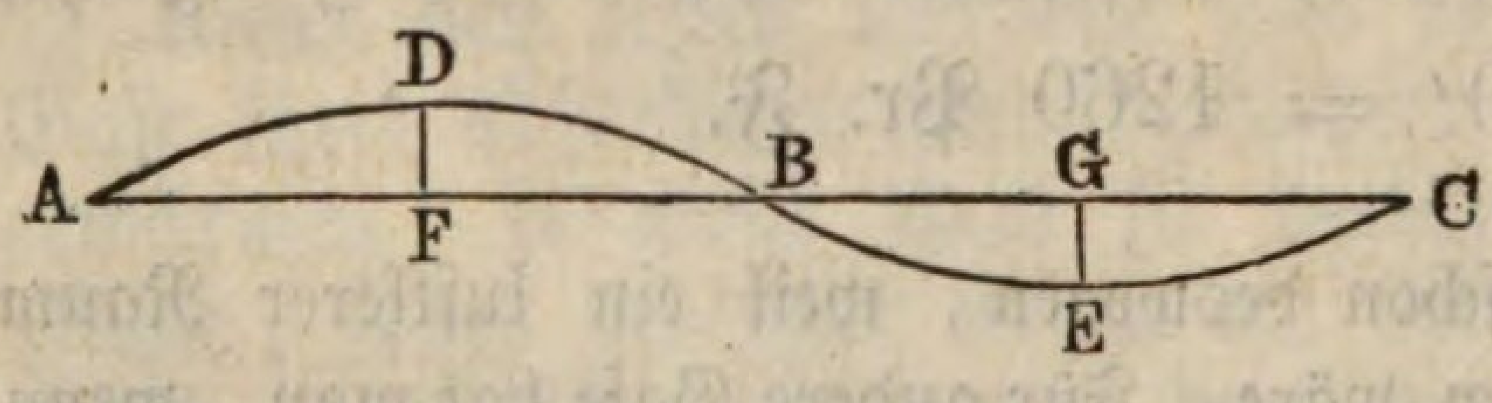
Auch bei Gasen ist die Ausflußmenge, welche man nach der Formel erhält, viel größer als die in Wirklichkeit beobachtete, und zwar aus ähnlichen Gründen wie bei tropfbaren Flüssigkeiten; durch Ansatzröhren wird sie immer vergrößert. Bei der Fortleitung der Gase in Röhren nimmt die Gasmenge mit zunehmender Länge der Röhre ab, und zwar, wie es scheint, im Verhältniß der Quadratwurzeln aus den zunehmenden Längen.

Ausströmende Gase üben eben so wie tropfbare Flüssigkeiten (§ 52 extr.) eine rückwärts wirkende Kraft aus; daher das Zurückprallen abgefeuerter Kanonen und das Steigen der Raketen.

Endlich kann man auch den Stoß, welchen bewegte Luft auf ruhende Körper (Windmühlflügel, Segel) ausübt, im Allgemeinen wenigstens, nach § 53 extr. beurtheilen. Wird die Luft beim Ausströmen in einen leeren Raum durch einen Kolben gehindert, so muß dieser wegen der bedeutenden Geschwindigkeit der Luft (1200′) mit großer Gewalt fortgetrieben werden. Darauf gründet sich die Anlegung der „atmosphärischen Eisenbahnen". (Clegg.) —

§ 74. In einer jeden ruhenden **Flüssigkeit** können an ihrer Oberfläche auf verschiedene Weise (durch Wind, hineinfallende feste Körper oder Herausheben von etwas Flüssigkeit) **Wellen** erregt werden, bestehend in abwechselnden Erhebungen und Senkungen der Flüssigkeitstheilchen. Jene heißen **Wellenberge**, z. B. ADB (Fig. 83) diese **Wellenthäler** BEC.

Fig. 83.



Die Erhebung des Wellenbergs über das Niveau AC, nämlich DF, heißt seine **Höhe**, eben so EG die **Tiefe** des Welelenthals, AB die **Länge** (b,i, Weber die **Breite**) des Berges, BC die des Thales, DF + EG die Höhe und AC die Länge (Breite) der ganzen Welle. Der Wellenberg ADB ist dem zugehörigen Thal BEC nicht congruent; ja es ist nicht einmal ADF ≌ BDF und BEG nicht ≌ CEG.

Davon überzeugt man sich, wenn man in Quecksilber von einem Punkt aus eine Welle erregt und eine mit Mehl bestäubte Schieferplatte lothrecht hineinsenkt, o daß sie durch jenen Punkt geht.

Die Wellenform ADBEC wird dadurch erzeugt, daß die einzelnen Flüssigkeitstheilchen in verticalen Ebenen, welche sämmtlich durch A gehen, und zwar in geschlossenen oder offenen, kreisförmigen oder elliptischen Linien auf und nieder — nicht etwa horizontal fortschreitend — sich bewegen.

Man erkennt dieß z. B. an Bernsteinstückchen, welche in Wellen werfendem Wasser schwimmen. In der Tiefe der Flüssigkeit sind jene Bahnen sehr niedrige Ellipsen.

Die Erscheinung läßt sich folgender Maßen erklären:

Ist bei Punkt A durch einen in die Flüssigkeit geworfenen Stein eine Vertiefung entstanden, welche sich mit einem concentrischen Ringe von gehobenen Flüssigkeitstheilchen umgeben muß: so fließt derselbe nachher sowohl nach B als nach A zu ab; der nach B abfließende Theil erzeugt eine zweite, schwächere, sich concentrisch erweiternde Welle, während der andere bei A die Flüssigkeit in die Höhe treibt und dadurch von neuem Ursache einer 2ten Wellenbildung wird u. s. f., bis die Flüssigkeit zur Ruhe kommt.

Die Breite, Höhe und Geschwindigkeit der Wellen richtet sich nach der erregenden Kraft.

Ist das Wasser fließend, so bewegt sich der Mittelpunkt der Wellen nebst seinen Ringen mit der Geschwindigkeit des Wassers. Das kann man an schwimmendem Holz wahrnehmen.

Können die Wellen in einer Flüssigkeit sich ohne Hinderniß ausbreiten, so bleiben sie kreisförmig.

Werden von 2 Punkten aus Wellen erregt, so durchkreuzen sie sich, ohne sich in ihrer weiteren Bewegung zu stören. An den Durchkreuzungsstellen bilden sie entweder größere Berge und Thäler, oder kleinere, je nachdem Berg und Berg und Thal und Thal, oder Berg und Thal zusammentreffen (Interferenz der Wellen).

Kreisförmige Wellen, welche auf eine feste Wand senkrecht treffen, werden senkrecht zurückgeworfen, so daß sie nach der Richtung concav werden, in welcher sie vorher convex waren. Sie gehören Kreisen an, deren Mittelpunkt eben so weit hinter der Wand liegt, als der Entstehungspunkt vor derselben. Damit hängt unmittelbar zusammen, daß, wenn die Wellen auf die Wand schief stoßen, sie unter demselben Winkel zurückgeworfen werden, unter welchem sie einfielen.

Die Richtung kreisförmiger Wellen wird durch den nach dem Treffpunkt gehenden Radius angegeben.

Treffen sie auf eine feste Ebene mit einer Oeffnung, so werden sie an dieser gebeugt; d. h. es werden die auf die Enden der Oeffnung (A und B) treffenden Wellenbogen um diese Enden herumgedreht in Kreisbogen, deren Mittelpunkte A und B sind.

Wenn man in einem rechtwinklig-parallelepipedischen Gefäße mit Quecksilber (Weber's Wellenrinne) von einem bestimmten Punkte aus immer nach bestimmten gleichen Pausen gleich starke Wellen erregt, so müssen die reflectirten Wellen sich mit den ursprünglichen durchkreuzen. In Folge dessen werden an denselben Stellen pausenweise immer dieselben Wellenbildungen eintreten, je nachdem Berge oder

Thäler mit einander zusammentreffen. Solche Wellen nennt man stehende Wellen und die Grenzpunkte der so hervorgerufenen Berge und Thäler Schwingungsknoten.

Auch elastische Flüssigkeiten können in eine wellenförmige Bewegung versetzt werden, indem ihre einzelnen Theilchen abwechselnd an einander gedrängt und von einander entfernt werden.

Wird nämlich eine elastische Kugel M, die allseitig von Luft umgeben ist, plötzlich ausgedehnt, so muß sie sich mit Kugelschalen von abwechselnd dichterer und dünnerer Luft umgeben. Jedes Paar solcher Schalen heißt eine Welle und die Dicke des Paars die Länge der Welle.

Denn die an der Oberfläche der Kugel befindlichen Lufttheilchen werden sämmtlich gleich sehr in der Richtung der Radien fortgestoßen, müssen also, da sie nicht seitwärts ausweichen können, die Theilchen der nächstliegenden Luftschicht in eben jener Richtung drängen, diese die folgenden u. s. f. und sich so comprimiren. Hat nun die Kugel ihre größte Ausdehnung erreicht, so zieht sie sich wieder zusammen; es müssen also in den so entstehenden leeren Raum die benachbarten Luftkügelchen in rückgängiger Bewegung eintreten und sich dabei vermöge ihrer Expansivkraft wieder ausdehnen. Hat nun das erste Luftkügelchen seine rückgängige Bewegung eben vollendet, während das nte seine ursprünglich erhaltene Bewegung nach außen eben antritt, so heißt ihre Entfernung von einander die Wellenlänge und die concentrische Kugelschale, deren Breite jene Linie ist, eine Welle. Denkt man sich dieselbe durch eine Kugelfläche getheilt, welche durch die Mitten aller Wellenlängen geht, so haben die in dem äußeren Theil befindlichen Luftkügelchen noch die Bewegung nach außen, die in dem inneren Theil dagegen die rückgängige; der innere Theil enthält verdünnte, der äußere verdichtete Luft, welche dann weiter nach außen wirkt. —

Auch die Wellen elastischer Flüssigkeiten erleiden Reflexionen, Interferenzen, Beugungen und andere Modificationen, von denen die nächsten Abschnitte handeln.

Vierter Abschnitt.

Vom Schall.

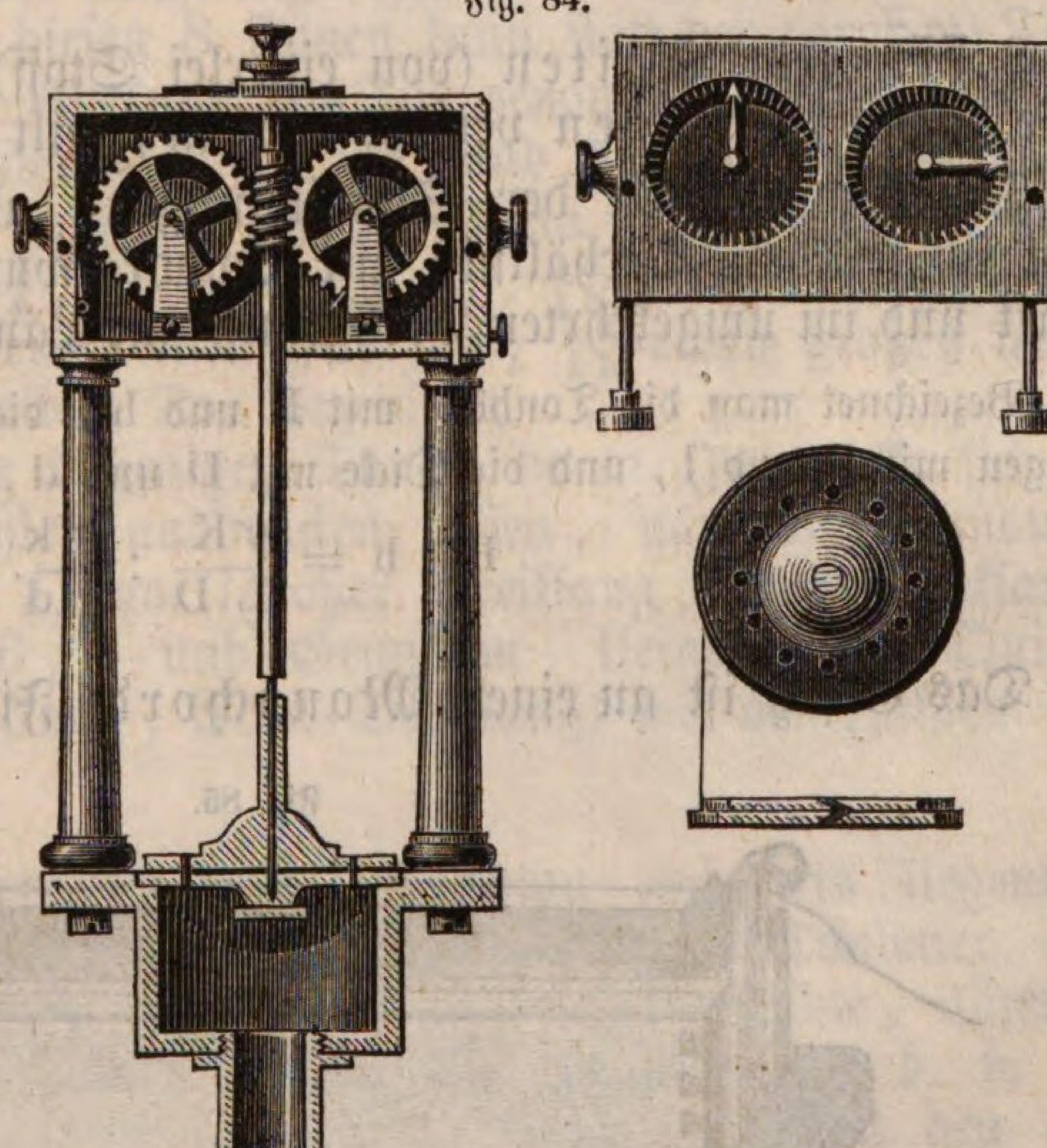
(Die Akustik.)

§ 75. Unter Schall versteht man jede Einwirkung auf unser Gehörorgan. Er entsteht durch schnelle, starke Schwingungen, in welche ein Körper versetzt wird.

Z. B. Savart'sche Räder, Cagniard Latour's Sirene (Fig. 84), das Trevelyan-Instrument, die chemische Harmonika, Peitsche, Flügelschlag der Insecten u. s. w.

Die Schwingungen müssen so schnell erfolgen, daß sie aufhören zählbar zu sein.

Fig. 84.



Ein Schall, der von regelmäßigen Schwingungen hervorgebracht wird, heißt Klang, jeder andere Geräusch (Knall, Krachen, Getöse u. s. w.). Ein Klang heißt höher oder tiefer, je nachdem er von schnelleren oder langsameren Schwingungen herrührt. In dieser Beziehung braucht man den Ausdruck Ton. Eine gewisse individuelle (qualitative) Verschiedenheit, welche bei aller quantitativen Uebereinstimmung bestehen kann und in der Verschiedenheit der Tonquelle ihren Grund hat, kann man mit dem Ausdruck Klang oder Laut (auch wohl Ton) bezeichnen.

Jedes Zusammenerklingen von Tönen heißt ein Accord, und zwar eine Consonanz oder Dissonanz, je nachdem er dem Ohr eine gewisse Befriedigung gewährt, oder nicht. Jede Folge von Tönen heißt eine Melodie, jede Folge von Accorden eine Harmonie.

1. Die Erzeugung des Schalles.

§ 76. Nur elastische Körper sind geeignet, einen Klang hervorzubringen — also alle Luftarten und diejenigen festen Körper, welche entweder von Natur (durch ihre Cohäsionsverhältnisse) oder durch Spannung elastisch sind.

Die festen Körper unterscheidet Chladni in fadenförmige und membranenförmige, je nachdem in ihnen eine Dimension erheblich überwiegt, oder nicht.

(Saiten, Stäbe, Stimmgabeln, Zinken. — Scheiben, Glocken, Pauken, Trommelfelle.)

Die fadenförmigen Körper kann man erregen:

1) in transversale Schwingungen, welche senkrecht auf die Längenrichtung,

2) in longitudinale, welche längs der Hauptrichtung erfolgen, und

3) in rotirende (drehende) Schwingungen.

§ 77. Für Saiten (von einerlei Stoff), welche in transversale Schwingungen versetzt werden, gilt das Euler'sche Gesetz:

Die Schnelligkeit der Schwingungen, also die Höhe des Tons, steht in geradem Verhältniß zur Quadratwurzel aus der spannenden Kraft und im umgekehrten Verhältniß zur Länge und Dicke der Saiten.

Bezeichnet man die Tonhöhe mit H und h, die Kräfte mit K und k, die Längen mit L und l, und die Dicke mit D und d, so ist

$$H : h = \frac{\sqrt{K}}{L.D} : \frac{\sqrt{k}}{l.d}.$$

Das Gesetz ist an einem Monochord (Fig. 85) leicht nachzuweisen.

Fig. 85.



Der tiefste vom menschlichen Ohr wahrnehmbare Ton ist derjenige, welcher von 32 (einfachen) Schwingungen in einer Secunde, der höchste (nach Savart) der, welcher von 48000 (einfachen) Schwingungen in 1'' herrührt.

§ 78. Der Ton, welcher von einer halb so langen Saite (ceteris paribus) erzeugt wird, heißt die Octave des von der ganzen Saite herrührenden Grundtons (der tonica), weil zwischen beiden zunächst 6 Töne (Secunde, Terz, Quart 2c.) liegen, welche in ihrer Aufeinanderfolge das Ohr befriedigen. Man bezeichnet diese Töne in Deutschland vom Grundton aus mit

C, D, E, F, G, A, H, c, d ....,

in Italien, Frankreich und anderen Ländern mit ut, re, mi, fa, sol, la, sa oder si, nach den Anfangssilben der Verse und den ersten Silben hinter der Cäsur in einem Liede an Johannes den Täufer:

Ut queant laxis resonnare fibris
Mira gestorum famuli tuorum
Solve polluti labii meatum
Sancte Joannes.

Statt des harten ut sagt man do.

Die diesen Tönen zugehörigen Saitenlängen sind 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{8}{15}$, $\frac{1}{2}$ und ihre Schwingungszahlen 1, $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{15}{8}$, 2.

Die Reihe jener Töne heißt die (diatonische) Tonleiter oder Scala; das Verhältniß der Schwingungszahlen irgend zweier Töne ihr Intervall. Nächst diesen 8 Tönen kann statt der (großen) Terz E mit guter musikalischer Wirkung ein Ton genommen werden, dessen Schwingungszahl $\frac{6}{5}$ (Saitenlänge $\frac{5}{6}$) ist, und der die kleine Terz heißt. Reiht man diesen noch mit in die Scala ein, so erhält man als Intervalle $\frac{9}{8}$, $\frac{16}{15}$, $\frac{25}{24}$, $\frac{16}{15}$, $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$, $\frac{9}{8}$, $\frac{16}{15}$, von denen $\frac{9}{8}$ einen großen ganzen, $\frac{10}{9}$ einen kleinen ganzen, $\frac{16}{15}$ einen großen halben, $\frac{25}{24}$ einen kleinen halben Ton bezeichnet.

Am meisten consoniren diejenigen Töne, deren Intervalle sich in den kleinsten ganzen Zahlen ausdrücken lassen, nämlich Grundton, große Terz, Quinte und Octave (großer Dreiklang, Dur-Dreiklang) mit den Zahlen 4, 5, 6, 8 und Grundton, kleine Terz, Quinte und Octave (kleiner Dreiklang, Moll-Dreiklang) mit den Zahlen 10, 12, 15, 20.

§ 79. Will man von den vom Grundton aufwärts liegenden Quinten G, d, a, $\bar{e}$ ... möglichst der diatonischen Tonleiter anschließend sich bewegen, so ist man genöthigt, einzelne Töne, nämlich F, C, G ... um einen kleinen halben Ton zu erhöhen, d. h. die Schwingungszahl mit $\frac{25}{24}$ zu multipliciren. Geht man von den abwärts liegenden Quinten $\underline{F}$, $\underline{\underline{H}}$ (B) ... aus, dann muß man die Töne H, E .... eben so erniedrigen, nämlich durch Division mit $\frac{25}{24}$. Die Erhöhung bezeichnet man, indem man is, die Erniedrigung, indem man es oder s anhängt. (Statt hes sagt man b.) Man erhält so 22 Töne, welche auf dem Clavier in 12 zusammenfallen, weil cis und des, dis und es u. s. w. nur äußerst wenig differiren. Diese 12 Töne bilden die chromatische Tonleiter.

Geht man über eine Octave hinaus, zu Tönen, welche man mit c, d, ... $\bar{c}$ (das eingestrichene c) $\bar{d}$, ... $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{d}}$ .... bezeichnet, so entfernt man sich noch mehr von den reinen Verhältnissen und man muß einzelne Töne (die Quinten) temperiren, indem man das Intervall $\frac{81}{80}$ (Komma) einführt. Gleichschwebende und ungleichschwebende (Kirnberger'sche) Temperatur.

Der tiefste musikalisch brauchbare Ton ist $\underline{\underline{C}}$ (das tiefe C, welches von 32 Schwingungen in 1'' herrührt), der höchste das 6 gestrichne C, welches die 9te Octave von $\underline{\underline{C}}$ ist und von 16896 Schwingungen in der Secunde entsteht.

Fig. 86.

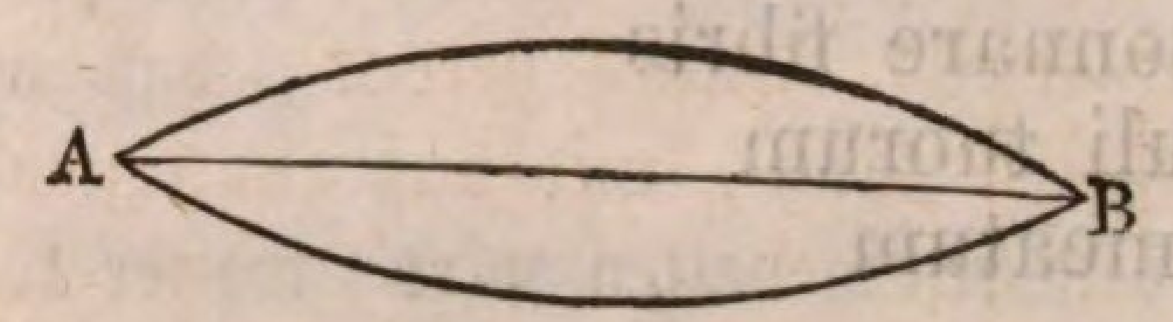
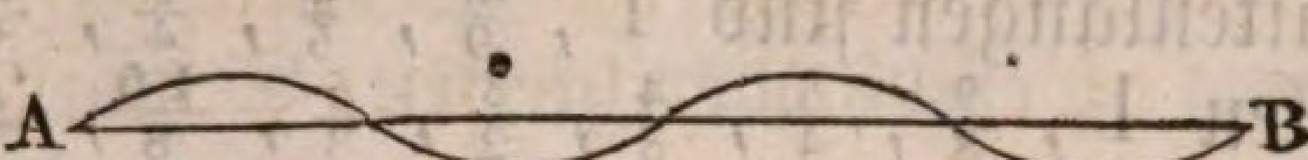


Fig. 87.



§ 80. Im Vorigen war angenommen, daß die Saite als ein Ganzes ausschwingt, d. h. daß sie beim Schwingen die Fig. 86 bildet. Man kann sie aber auch in aliquoten Theilen schwingen lassen, indem man nämlich einen beliebigen aliquoten Theil, z. B. den 4ten durch leise Berührung der Saite mit dem Finger absondert und denselben mit dem Violinbogen streicht. Die Saite giebt dann Fig 87.

(Schwingungsknoten oder Knotenpunkte. Bäuche. Papierne Reiterchen. Flageolett-Töne. Solcher Art scheinen die Töne der von Athan. Kircher erfundenen Aeolsharfe oder Windharfe zu sein.

In longitudinale Schwingungen wird eine Saite dadurch versetzt, daß man sie mit dem Violinbogen unter sehr ungleichen Nebenwinkeln streicht. Die entstehenden Töne sind viel höher als die von derselben Saite durch transversale Schwingungen erzeugten.

§ 81. Elastische Stäbe, welche an einem Ende festgeschraubt und in pendelartige transversale Schwingungen versetzt werden, erzeugen Töne, deren Höhe im geraden Verhältniß der Dicke und im umgekehrten quadratischen Verhältniß der Länge wächst. Longitudinale Schwingungen erhält man an Glasröhren und Glasstäben durch Reiben mit einem nassen (oder mit Bimssteinpulver bestreuten) Tuche. Die durch sie hervorgerufenen Töne sind bedeutend höher als die von transversalen Vibrationen herrührenden.

Die durch rotirende Schwingungen entstehenden Töne sind (nach Chladni) um eine Quinte tiefer als die (ceteris paribus) durch longitudinale erzeugten.

§ 82. Elastische Scheiben, welche durch Streichen mit einem Violinbogen in transversale Schwingungen erregt werden, ergeben Knotenlinien, welche man durch aufgestreuten Sand kenntlich machen kann. (Chladni'sche Klangfiguren.) Die Figur wird durch die Gestalt der Scheibe und durch die Höhe des Tons bestimmt; sie wird

um so complicirter, in je mehr Theile sich die Scheibe theilt. Denn je kleiner die Theile werden, um so kürzere und schnellere Wellen müssen sich ergeben, um so höher wird also der Ton.

§ 83. Die luftförmigen Körper, insbesondere die atmosphärische Luft, erregt man in den Blase-Instrumenten auf verschiedene Weise (nämlich?) in Schwingungen, welche in abwechselnder Verdichtung und Verdünnung der schwingenden Luftsäule bestehen und längs der Länge der Luftsäule erfolgen.

Daß in den Blase-Instrumenten nicht der Stoff, aus welchem sie bestehen, sondern die Luft den Schall erzeugt, geht einerseits daraus hervor, daß man als Material auch ganz unelastische Stoffe nehmen kann, und daß ein tönendes Blase-Instrument, auch wenn es mit der Hand fest gehalten wird, weiter tönt.

Die Gesetze der Luftschwingungen treten am reinsten in den Orgelpfeifen hervor, welche man in Flötenpfeifen (Lippenpfeifen oder Labialpfeifen) und in Zungenpfeifen (Rohrwerkpfeifen, Schnarrwerke) unterscheidet.

§ 84. Eine Flötenpfeife besteht aus dem konischen Windrohre AB (Stiefel, Fig. 88) und der eigentlichen Pfeife AC (Röhre oder Körper der Pfeife), welche von einander durch eine Platte AD bis auf eine kleine Spalte D in der allda durchschnittenen Seitenwand getrennt sind. (Lefzen oder Lippen.)

Fig. 88.

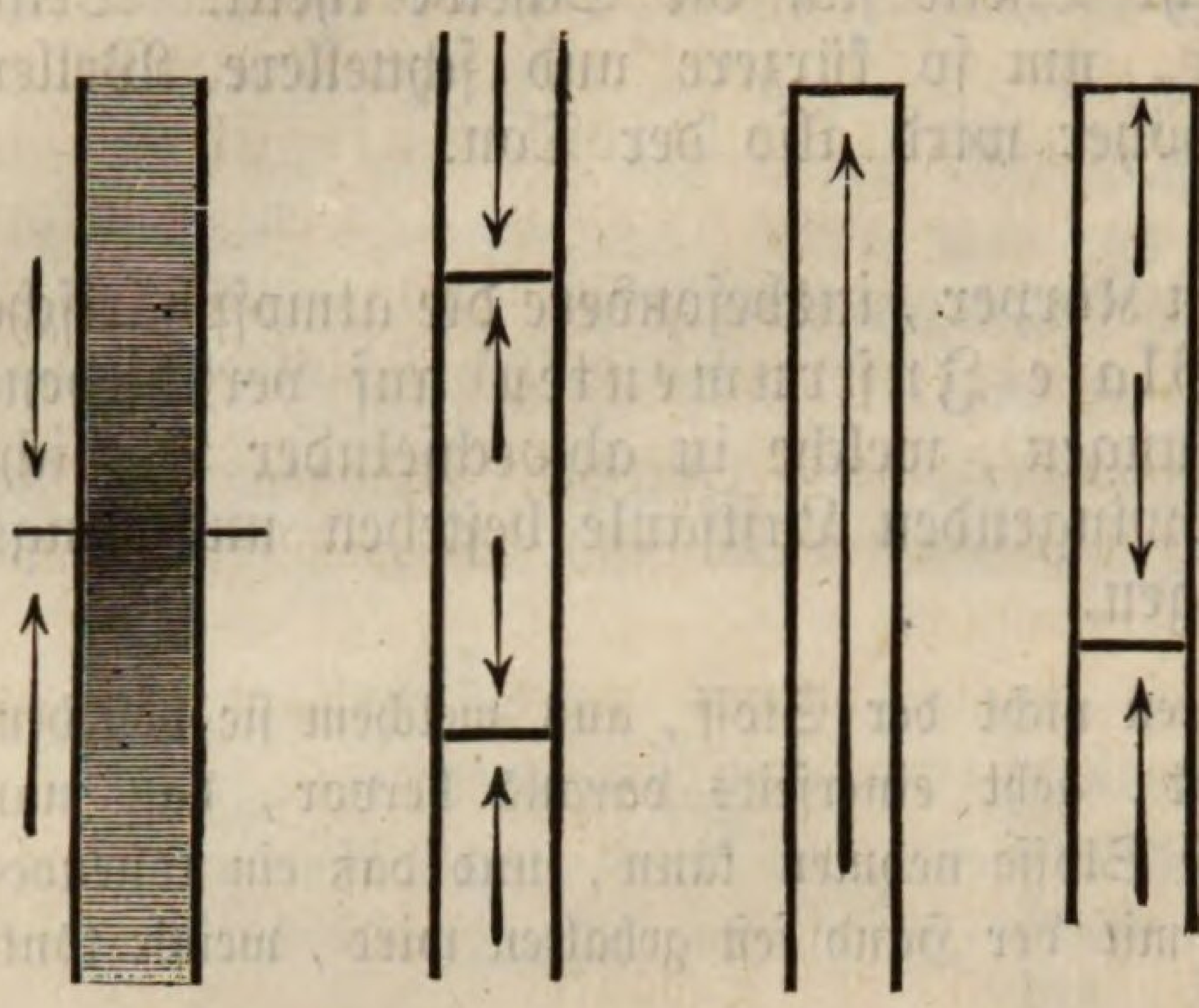


Die Flötenpfeifen sind entweder offen oder gedeckt. In jeder der beiden Arten hängt, wenn die Länge mindestens 6 mal so groß als die Dicke ist, die Tonhöhe vorzugsweise von der Länge der schwingenden Luftsäule ab und ist ihr umgekehrt proportionirt.

Theilt in einer offenen Flötenpfeife sich die schwingende Luftsäule in 2 gleiche Theile mit einem Schwingungsknoten in der Mitte (Fig. 89), so giebt die Pfeife den tiefsten Ton; theilt sie sich, in Folge stärkeren Anblasens, in vier gleiche Theile, mit 2 Knoten, welche um den 4ten Theil vom Ende entfernt sind (Fig. 90), oder in 6 gleiche Theile mit 3 Knoten u. s. w., so entstehen Töne, deren Schwingungszahlen 2, 3 . . . sind, wenn die des Grundtons mit 1 bezeichnet wird.

In der gedeckten Pfeife bewegt sich die Luft, wenn sie den tiefsten Ton ergiebt, abwechselnd nach dem geschlossenen Ende und zurück,

Fig. 89. 90. 91. 92.



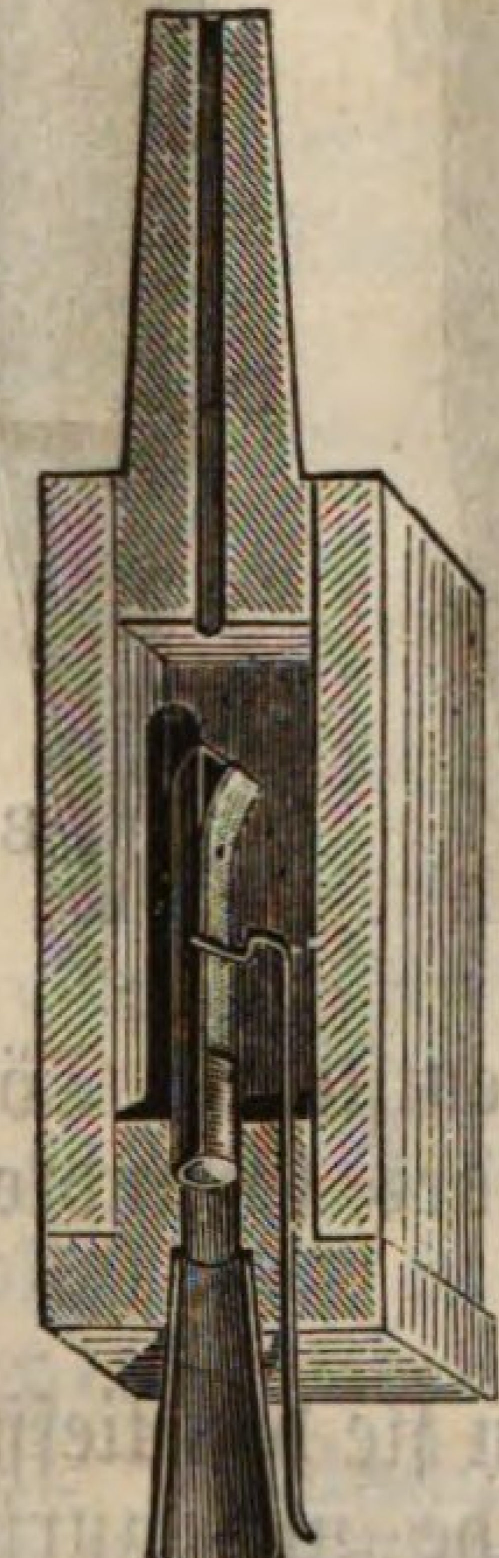
mit einem Knoten an der deckenden Platte (Fig. 91); bei complicirteren Schwingungen erhält die Luftsäule noch einen Knoten, der vom offenen Ende um $\frac{1}{3}$ der Luftsäule entfernt ist (Fig. 92), oder 2 Knoten, die vom offenen Ende resp. um $\frac{1}{5}$ und $\frac{3}{5}$ der Länge entfernt sind, u. s. w. Die Schwingungs-Zahlen dieser Töne stehen im Verhältniß von 1 : 3 : 5 : 7.

Eine gedeckte Orgelpfeife giebt denselben Ton als eine noch einmal so lange offene; verglichen mit einer eben so langen offenen giebt sie die untere Octave.

Den tiefsten wahrnehmbaren Ton $\underline{\underline{C}}$ giebt die 32füßige offene oder die 16füßige gedeckte Orgelpfeife, wenn die Luftsäule in ihnen in der einfachsten Art vibrirt.

Offene Orgelpfeifen, die nach dem Ende zu sich erweitern, geben einen etwas höheren Ton als die von überall gleicher Weite; verengern sie sich, so wird der Ton tiefer. Bei Blase-Instrumenten, in welchen die schwingende Luftsäule weniger als das 6fache der Dicke beträgt, und die als Flötenpfeifen anzusehen sind, hängt die Höhe des Tons noch von der Art des Anblasens, von der Gestalt der Luftsäule, von der Größe und Lage des Mundlochs und von der Festigkeit der Wände ab.

Fig. 93.



§ 85. Die Zungenpfeifen bestehen ebenfalls aus Stiefel und Röhre, welche aber von einander durch eine Querplatte vollständig getrennt sind. Die Verbindung wird durch die aus zwei elastischen Blättchen bestehende Zunge hergestellt, welche durch die Querplatte hindurchgeht.

Der Ton hängt vorzugsweise von den Dimensionen und der Elasticität der Zunge ab, die zunächst in Vibrationen versetzt wird und dieselben der Luftsäule mittheilt. Die Röhre der Pfeife kann abgenommen werden, ohne daß der Ton sich wesentlich ändert. (Physharmonika.)

In ähnlicher Weise, wie durch Zungen, wird durch die Mundstücke der Clarinetten, Fagotte und Oboen der Ton erzeugt.

Das menschliche Stimmorgan besteht aus dem Kehlkopf, dem Schlunde und dem Munde. Der Kehlkopf ist eine aus Knorpeln bestehende Erweiterung des oberen Theils der Luftröhre, in welche aus den Lungen die Luft getrieben wird. Den Kehlkopf schließen die beiden Stimmbänder bis auf eine kleine Spalte, die Stimmritze; gespannt werden dieselben durch einen Muskel.

Hieraus erklärt sich das Athmen, Husten, Sprechen, Singen. — Das menschliche Stimmorgan umfaßt selten mehr als 2 Octaven. Die weibliche Stimme liegt etwa 1½ Octave höher als die männliche.

Dem menschlichen Stimmorgan ähnlich ist das der Säugethiere; bei den Vögeln ist der Kehlkopf am unteren Theile der Luftröhre.

2) Die Fortpflanzung des Schalles.

§ 86. Die Fortpflanzung des Schalles geschieht nicht bloß in der Atmosphäre, sondern auch, und zwar schneller und stärker, in festen und flüssigen Körpern. — Beispiele dazu.

Die Bewegung des Schalles ist eine gleichförmige.

(Feuersignale. Moll 1823, Gay-Lussac und Alex. v. Humboldt.)

Die Geschwindigkeit des Schalles hängt nicht (wenigstens nicht erheblich) von der Höhe und Stärke des Tons, sondern nur von der Beschaffenheit des Mediums ab.

In allen Luftarten nimmt sie mit der Temperatur derselben zu, ist aber von ihrem Drucke unabhängig. In der atmosphärischen Luft wächst sie auf jeden Grad Réaumur um 2,4′ und beträgt bei 10° R. etwa 1050′.

Die Feuchtigkeit erhöht die Geschwindigkeit (Goldingham), weil sie die Luft homogener macht. Der Wind beschleunigt oder verzögert den Schall um seine eigne Geschwindigkeit, je nachdem er in derselben oder in entgegengesetzter Richtung weht.

Im Wasser bewegt sich der Schall mit 4mal so großer Schnelligkeit (Colladon und Sturm), in Metallen 7—16 mal, in Hölzern 11—16, in Glas 17 mal, in Thon 10—12 mal so schnell als in der Luft.

(Erscheinungen, die darauf beruhen, daß der Schall sich langsamer bewegt als das Licht.)

§ 87. Die Stärke des Schalls, und mit ihr die Weite der Wahrnehmbarkeit, wächst mit der Größe der schwingenden Masse, mit der Weite und Schnelligkeit der Schwingungen und mit der Dichtigkeit des fortpflanzenden Mediums. Sie nimmt ab im quadratischen Verhältniß der Entfernungen. (Vergl. § 94.)

Belege dazu. — Die größte Entfernung, bis zu welcher ein Schall gehört worden ist, beträgt 75 geographische Meilen (Ausbruch des Vulkans auf St.

Vincent 1812.) In verdünnter Luft (unter der Luftpumpe und auf sehr hohen Bergen) ist ein Schall wenig hörbar, in comprimirter (z. B. unter der Taucherglocke) unerträglich stark.

Auch hängt die Wahrnehmung des Schalles von der Stellung des Hörenden gegen den schallenden Körper ab, namentlich wenn dieser so gestaltet ist, daß er für die Schallwellen einen Stützpunkt bildet, über welchen hinaus sie sich zu bewegen verhindert werden.

Wind. Interferenz des Schalles an der Stimmgabel. Elastische Körper, welche den schallenden umgeben, verstärken durch Mittönen den Schall. Resonanzboden.

Der Schall verliert an Stärke sehr, wenn er aus einem Medium in ein anderes, namentlich in ein dichteres übergehen muß.

Deshalb wird er durch wollne und seidne Tücher, Tapeten, Betten, Doppelthüren, Doppelfenster, durch Schnee und überhaupt durch poröse Körper sehr geschwächt.

§ 88. Treffen die Schallwellen auf eine feste Wand, so dringen sie nur zum Theil ein, zum Theil werden sie, und zwar unter demselben Winkel reflectirt, unter welchem sie einfallen (§ 39). Ist die reflectirende Wand dem Ort der Entstehung nahe, so wird der Schall durch die Reflexion nur verstärkt; ist sie entfernter, so wird er verlängert, es entsteht ein Nachhall. Ist die Wand 58′ und darüber entfernt, so entsteht ein Echo, ein Widerhall.

Sollen 2, 3 und mehr Laute (Silben) wiederholt werden, so muß die Wand 2, 3 und mehrmal 58′ entfernt sein.

Es ist nämlich erfahrungsmäßig, daß unser Ohr in 1″ nur 9 Laute hinter einander deutlich wahrnehmen kann; die Empfindung des Schalles dauert also $\frac{1}{9}$″. In dieser Zeit legt der Schall einen Weg von circa 116′ zurück. Sollen nun die Schallwellen nach Aufhören der ersten Schallempfindung, also nach $\frac{1}{9}$″, zum Entstehungsort zurückkehren, so müssen sie 116′, also 58′ Hinweg und 58′ Rückweg zurückgelegt haben. Ein- und mehrsilbige Echo's, vielfache Echo's. Beispiele. Flüstergalerien, Sprachgewölbe.

§ 89. Die Abnahme der Schallstärke mit zunehmender Entfernung hat ihren Grund darin, daß die Schallwellen sich beim Fortschreiten immer mehr extendiren. Hindert man dieß, so kann man den Schall viel weiter vernehmbar machen. Dieß geschieht

1) durch das Communicationsrohr, eine lange cylindrische Röhre, welche an den Enden etwas nach außen gebogen ist und dazu dient, in Gebäuden die menschliche Stimme nach entfernteren Räumen zu leiten,

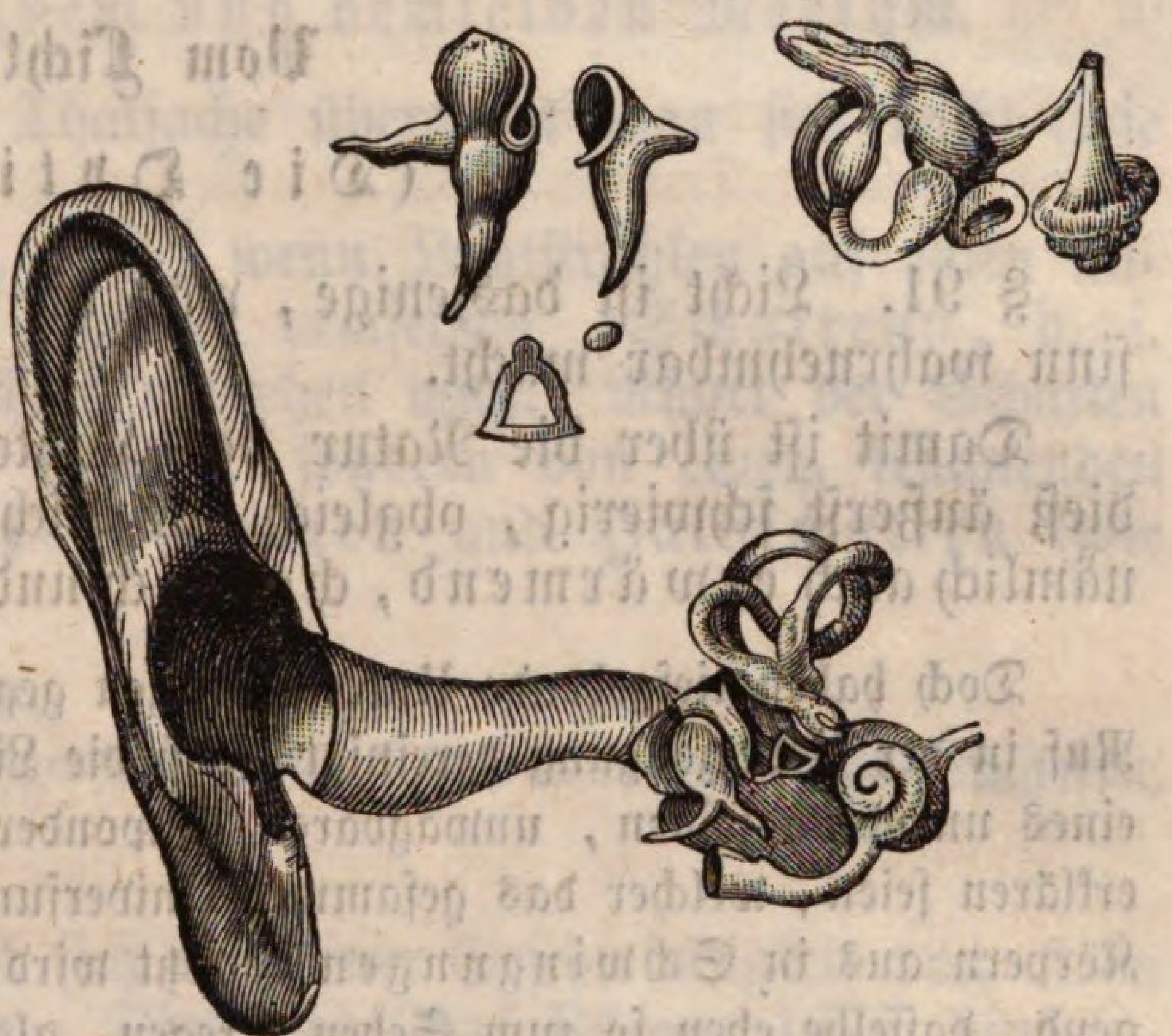
2) durch das Sprachrohr, eine konische, an beiden Enden ausgeschweifte Röhre, welche dazu dient, die menschliche Stimme im

Freien weithin (bis 18000′) vernehmbar zu machen, (Samuel Morland 1670),

3) durch das Hörrohr, eine trichterförmige, an beiden Enden umgebogene Röhre, welche einem Schwerhörigen die menschliche Stimme dadurch vernehmbar macht, daß die in der weiteren Oeffnung erregten Schallwellen in dem engeren Gange verdichtet und so verstärkt ins Ohr geleitet werden. (Laënnec's Stethoskop 1820.)

3. Die Wahrnehmung des Schalles.

Fig. 94.



§ 90. Das menschliche Gehörorgan zerfällt in das äußere und das innere Ohr. Das äußere Ohr besteht aus der Ohrmuschel und dem nach innen sich verengenden Gehörgange, welcher durch das Trommelfell geschlossen ist. Hinter diesem liegt die Trommelhöhle mit den Gehörknöcheln, dem Hammer, dem Ambos, dem runden Bein des Sylvius und dem Steigbügel. Hinter der Trommelhöhle, etwas höher, liegt das Labyrinth, welches aus dem Vorhof und der Schnecke besteht. Letztere enthält die aus $2\frac{1}{2}$ Windung bestehende, in der Mitte der Länge nach getheilte Treppe und ist mit Nervensubstanz gefüllt, welche sich in einer wässerigen Flüssigkeit befindet. Der Vorhof steht mit der Trommelhöhle durch 3 halbkreisförmige Canäle, welche im Vorhof entstehen und in ihn zurückkehren, und durch das ovale und das runde Fenster in Verbindung. Das runde Fenster ist durch das „2te" Trommelfell geschlossen, das ovale aber durch den Steigbügel nur bedeckt. Mit der Mundhöhle steht die Trommelhöhle durch die Eustachische Röhre in Verbindung, so daß zwischen der in beiden eingeschlossenen Luft sich Gleichgewicht erhalten kann.

Wird das runde Bein des Sylvius durch Krankheit zerstört, so fällt der Steigbügel von dem ovalen Fenster herab, und die Flüssigkeit des Labyrinthes fließt heraus; der Gehörnerv vertrocknet und wird unempfindlich. Taubheit Schwerhörigkeit in Folge der Verstopfung der Eustachischen Röhre oder des Gehörgangs. Parakusis Willisiana.

Das gesunde Ohr vermag Töne, welche von derselben Tonquelle herrühren, nach Höhe und Tiefe leicht zu unterscheiden. Bei Tönen von verschiedenen Tonquellen täuscht man sich leicht um Octaven.

Die Gehörorgane der Thiere.

Fünfter Abschnitt.

Vom Licht.

(Die Optik.)

§ 91. Licht ist dasjenige, was die Gegenstände unserm Gesichtssinn wahrnehmbar macht.

Damit ist über die Natur des Lichtes nichts ausgesagt; auch ist dieß äußerst schwierig, obgleich das Licht in sehr mannigfacher Weise, nämlich auch erwärmend, chemisch und organisch wirkt. (Beispiele.)

Doch haben tiefgehende Untersuchungen gegenwärtig sämmtliche Physiker von Ruf in der Ueberzeugung vereinigt, daß die Lichterscheinungen durch Annahme eines unendlich feinen, unwägbaren (imponderabeln) elastischen Aethers zu erklären seien, welcher das gesammte Universum erfüllt und von den leuchtenden Körpern aus in Schwingungen versetzt wird, welche, in unser Auge gelangend, dasselbe eben so zum Sehen erregen, als die Schallwellen das Gehörorgan zum Hören.

Lichtwellen, Lichtstrahlen.

Die Undulationstheorie von Huyghens. (Euler, Young, Fresnel, Cauchy u. A.) Die von Newton herrührende Emanationstheorie, nach welcher man sich das Licht als einen unendlich feinen, unwägbaren Stoff vorstellt, der von den leuchtenden Körpern mit ungeheurer Geschwindigkeit ausströmt, mußte aufgegeben werden, weil sie einige Lichterscheinungen gar nicht zu erklären vermag.

Man unterscheidet die Körper in Beziehung auf das Licht zunächst in leuchtende und dunkle, je nachdem sie das Licht verbreiten oder nicht, und die ersten wieder in selbstleuchtende, welche das Licht aus sich erzeugen (z. B. verbrennende Körper, die Sonne und die andern Fixsterne, durch Electricität leuchtende Körper, durch den Lebensprozeß phosphorescirende Organismen, durch Insolation (d. h.?) leuchtende Körper u. a. m.) oder erleuchtet leuchtende Körper (z. B. die Planeten, Monde, alle sichtbaren Körper, die nicht von selbst leuchten).

In Beziehung auf den Durchgang des Lichtes unterscheidet man durchsichtige und undurchsichtige Körper.

Kein Körper ist vollkommen durchsichtig (selbst Luft und Wasser nicht); desgleichen ist kein Körper vollkommen undurchsichtig (selbst Gold nicht). Durchscheinende Körper. Belege dazu.

§ 92. Die Optik theilt man zunächst nach der Art der Fortpflanzung des Lichtes ein in:

A. Die „Optik im engeren Sinne"

oder die Lehre von der geradlinigen Verbreitung der Lichtstrahlen in einem und demselben Medium.

Von der Richtigkeit der Thatsache überzeugt man sich leicht (wie nämlich?).

Zugleich folgt aus ihr, daß, wenn Lichtstrahlen auf einen undurchsichtigen Körper treffen, hinter demselben „Schatten", d. i. partielle Abwesenheit des Lichtes entstehen muß. Rührt der Schatten nicht von einem leuchtenden Punkt, sondern von einem leuchtenden Körper her, so hat man Kernschatten und Halbschatten (wie nämlich?) zu unterscheiden.

Gestalt beider Arten Schatten.

Mond- und Sonnen- (eigentlich Erd-) Finsternisse. Ihr Entstehen, ihre Zahl ꝛc.

§ 93. Das Licht bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von circa 42000 Meilen in 1 Secunde. Dieß hat Olaf Römer 1675 hinsichtlich des Sonnenlichtes aus der Ungleichheit der Zeiten zwischen den Finsternissen der Jupiterstrabanten, Bradley 1727 hinsichtlich des Lichtes der andern Fixsterne aus ihrer Aberration und Fizeau 1849 hinsichtlich irdischen Lichtes nachgewiesen.

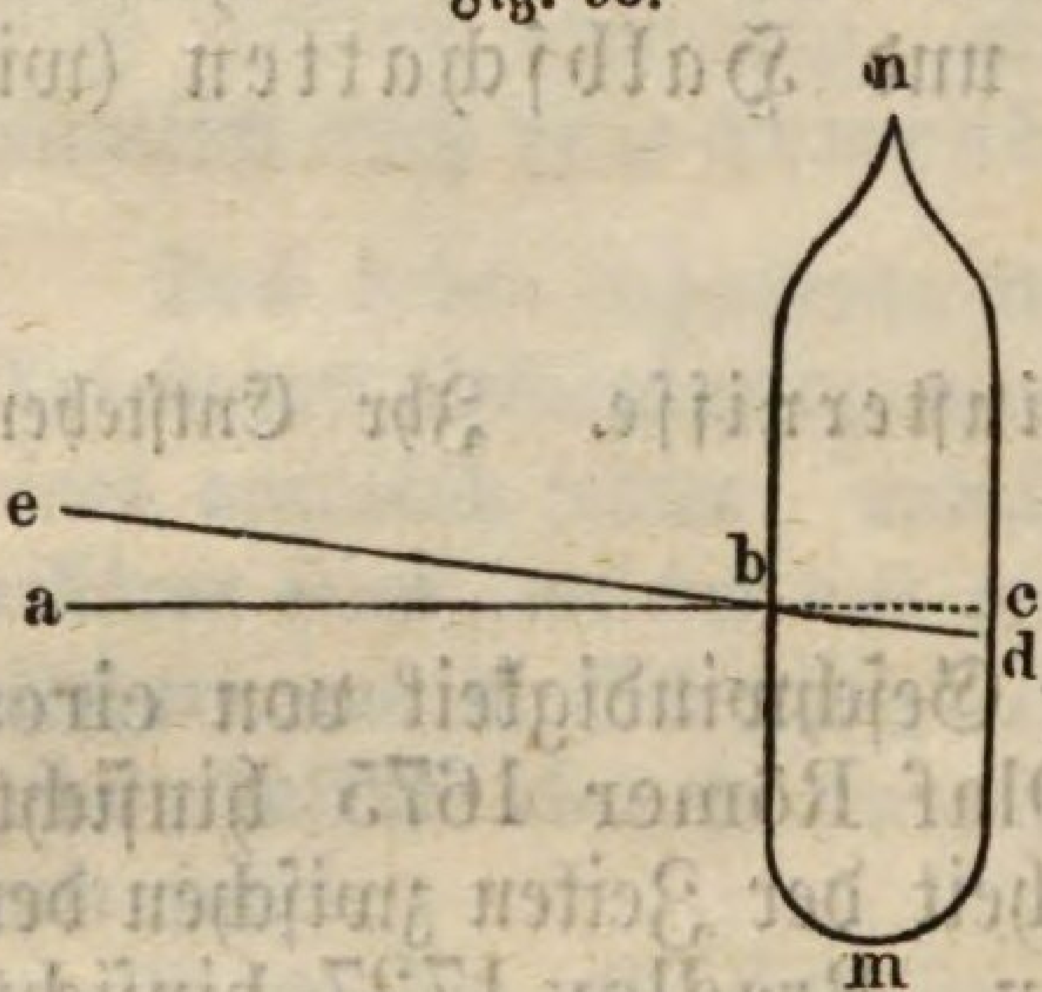
Der Jupiter wird bekanntlich von 4 Monden umkreist, welche sich ziemlich genau in der Ebene der Jupiters- und Erdbahn bewegen, so daß wenigstens die 3 ersten (dem Jupiter nächsten) bei jedem Umlauf in den Schatten des Jupiters eintreten und somit eine Finsterniß erleiden. Der erste Mond hat eine Umlaufszeit von 42 St. 28 M. 36 S.; so groß ist auch die Zeit zwischen zwei seiner auf einander folgenden Verfinsterungen, wenn die Erde sich in der Nähe der Opposition (d. h. zwischen Sonne und Jupiter) oder in der Nähe ihrer Conjunction (in der Verlängerung der vom Jupiter nach der Sonne gezogenen Linie) befindet — weil da die Erde während jener 42½ St. ziemlich dieselbe Entfernung vom Jupiter behält. Ist dagegen die Erde in einer der beiden Quadraturen (d. h. bilden die von der Sonne nach Jupiter und Erde gezogenen Linien einen rechten Winkel) und bewegt sie sich auf den Jupiter zu, so ist die Zeit zwischen zwei au einander folgenden Eintritten des Mondes in den Schatten seines Planeten um

etwa $14\frac{1}{2}''$ kleiner; (in der andern Quadratur ist die Zeit zwischen den Verfinsterungen, nach den Austritten bestimmt, um eben so viel größer). Nun legt die Erde in $42\frac{1}{2}$ St. — bei 4 Meilen Geschwindigkeit in 1″ — etwa 611600 M. zurück, welcher Weg vom Licht in $14\frac{1}{2}''$ durchlaufen eine Geschwindigkeit von 42000 M. ergiebt.

Um der größeren Genauigkeit der Beobachtung willen hat man, von der Zeit der Opposition ausgehend, den Eintritt der 100ten Verfinsterung berechnet, wo die Erde sich in der Nähe der Conjunction befindet, und jenen Eintritt dann beobachtet. Man fand eine Verspätung von 16 Minuten, in welchen also der Erdbahn-Durchmesser vom Licht zurückgelegt wird.

Die Aberration der Fixsterne besteht darin, daß sie nur dann an dem Ort, an welchem sie sich wirklich befinden, uns auch erscheinen, wenn die Erde sich gerade auf sie zu oder von ihnen weg bewegt (also in den Quadraturen); ist dieß nicht der Fall, so schieben sie anscheinend ihren Ort vor, in der Richtung der Erdbewegung. Diese Erscheinung erklärte schon Bradley durch Zusammensetzung der Bewegung der Erde mit der des Lichts. (So erscheint einem auf der Eisenbahn Reisenden jeder senkrechte Regen als ein von vorn kommender.) Denken wir uns — zum genaueren Verständniß und zur Berechnung — zunächst ein Schiff mn (Fig. 95) in der Richtung mn bewegt, und senkrecht auf seinen Lauf eine Kanonenkugel dasselbe in b treffend, so wird die Kugel die hintere Breitseite des Schiffes nicht in c, sondern in d treffen — vorausgesetzt, daß das Schiff in derselben Zeit, in welcher die Kugel von b bis c geht, den Weg dc zurücklegt. Die Kugel scheint also in der Richtung bd durch das Schiff, also von e hergekommen zu sein. Setzen wir an die Stelle des Schiffes die Erde und an die Stelle der Kanonenkugel die Lichtstrahlen, so ist die Aberration erklärt.

Fig. 95.



Unter den Voraussetzungen der vorigen Figur (d. h. wenn die Erde sich in der Opposition befindet) ist der Aberrationswinkel $20\frac{1}{4}''$ und die Schnelligkeit der Lichtstrahlen leicht zu berechnen.

Das Licht der Sonne braucht, um auf die Erde zu gelangen, $8\frac{1}{4}$ Minute, das Licht der nächsten anderen Fixsterne dagegen mehr als 6 Jahre.

§ 94. Die Stärke des Lichtes nimmt ab im quadratischen Verhältniß der zunehmenden Entfernung.

Die Lichtstrahlen, welche von einem leuchtenden Punkt auf eine begrenzte Ebene E gelangen, bilden nämlich, je nach der Begrenzung der Ebene, eine Pyramide oder einen Kegel. Wird die Pyramide durch eine der E parallele Ebene geschnitten, so verhält sich (nach Stereom. § 34) die Durchschnittsfigur D zur Ebene E wie die Quadrate der Entfernungen vom leuchtenden Punkte. Da nun dasselbe Lichtquantum, durch welches die Figur D eine gewisse Helligkeit

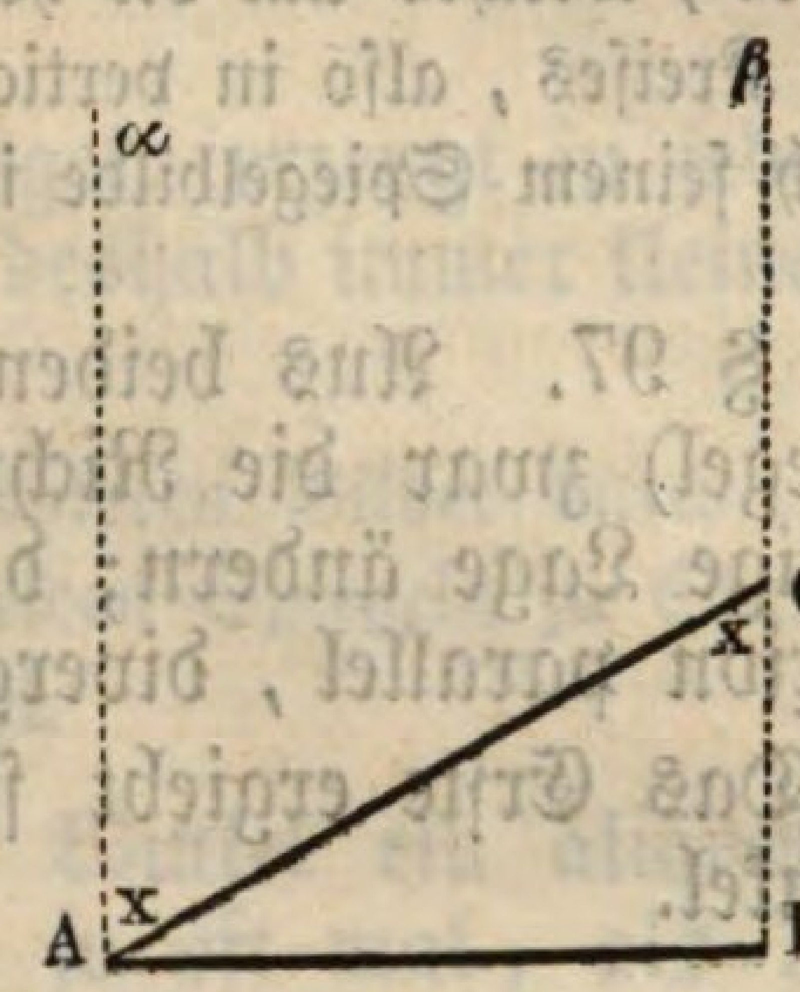
erhält, nach Wegnahme der Ebene D ausreichen muß, um die Ebene E zu erleuchten: so werden die Lichtstrahlen, welche auf diese letztere viel weniger gedrängt auffallen, auf sie auch viel weniger wirken, nämlich in dem Maße, in welchem sie sich extendiren, an Intensität verlieren.

Eine Figur, die diesen Beweis veranschaulicht, ist leicht zu entwerfen.

Andrerseits nimmt die Erleuchtung einer Fläche zugleich mit dem Winkel ab, welchen die Lichtstrahlen mit der Fläche bilden.

Daß für Sonnenlicht die Erleuchtung dem sinus jenes Winkels proportionirt ist, ergiebt sich so, wie im voranstehenden Beweise, wenn man erwägt, daß die Linie AB (Fig. 96), welche von der Lichtmenge $\alpha AB\beta$ senkrecht getroffen wird, kleiner als AC ist im Verhältniß von sin x : 1.

Fig. 96.



§ 95. Experimentell lassen sich die beiden Sätze des vorigen Paragraphen mittelst der **Photometer** nachweisen.

Diese „Apparate zur Messung der Lichtstärke" bestimmen das Verhältniß der Intensitäten zweier Lichtquellen

entweder — wie das von Ritchie verbesserte Bouguer'sche Photometer — nach der Entfernung, die man den Lichtern geben muß, damit sie dem Auge zwei neben einander befindliche matte Glastafeln **in gleicher Erleuchtung** zeigen,

oder — wie das Rumford'sche — aus der Entfernung, die die Lichtquellen haben müssen, damit die von ihnen mittelst eines undurchsichtigen Stabes hervorgerufenen **Schatten gleich intensiv** werden,

oder — wie das Lampadius'sche — aus der Menge gleich dünner Hornplatten, welche das Licht zu durchdringen vermag,

oder — wie das Bunsen'sche — aus der Entfernung, in die man die Lichtquellen stellen muß, wenn sie auf entgegengesetzten Seiten eines theilweise transparenten Papierschirms aufgestellt, denselben **gleichmäßig erleuchten** sollen.

Dem Lampadius'schen Photometer ähnlich ist das de Maistre'sche.

B. Die Katoptrik

oder die Lehre von der Reflexion der Lichtstrahlen an glatten Flächen (Spiegeln).

§ 96. Das Licht kann von einem Körper **regelmäßig** und **unregelmäßig** zurückgeworfen werden. Vermöge des ersteren (des

reflectirten) wird die Lichtquelle, vermöge des andern (des zerstreuten, diffusen) dagegen der das Licht zerstreuende Körper sichtbar. Von der Zerstreuung des Lichtes kann erst später (§ 109) die Rede sein.

Die Reflexion oder Spiegelung geschieht nach folgenden 2 Gesetzen:

1) Der einfallende Lichtstrahl, der reflectirte Strahl und das Einfallsloth (die auf der Spiegelfläche oder ihrer Tangential-Ebene im Einfallspunkt errichtete Senkrechte) liegen in einer Ebene.

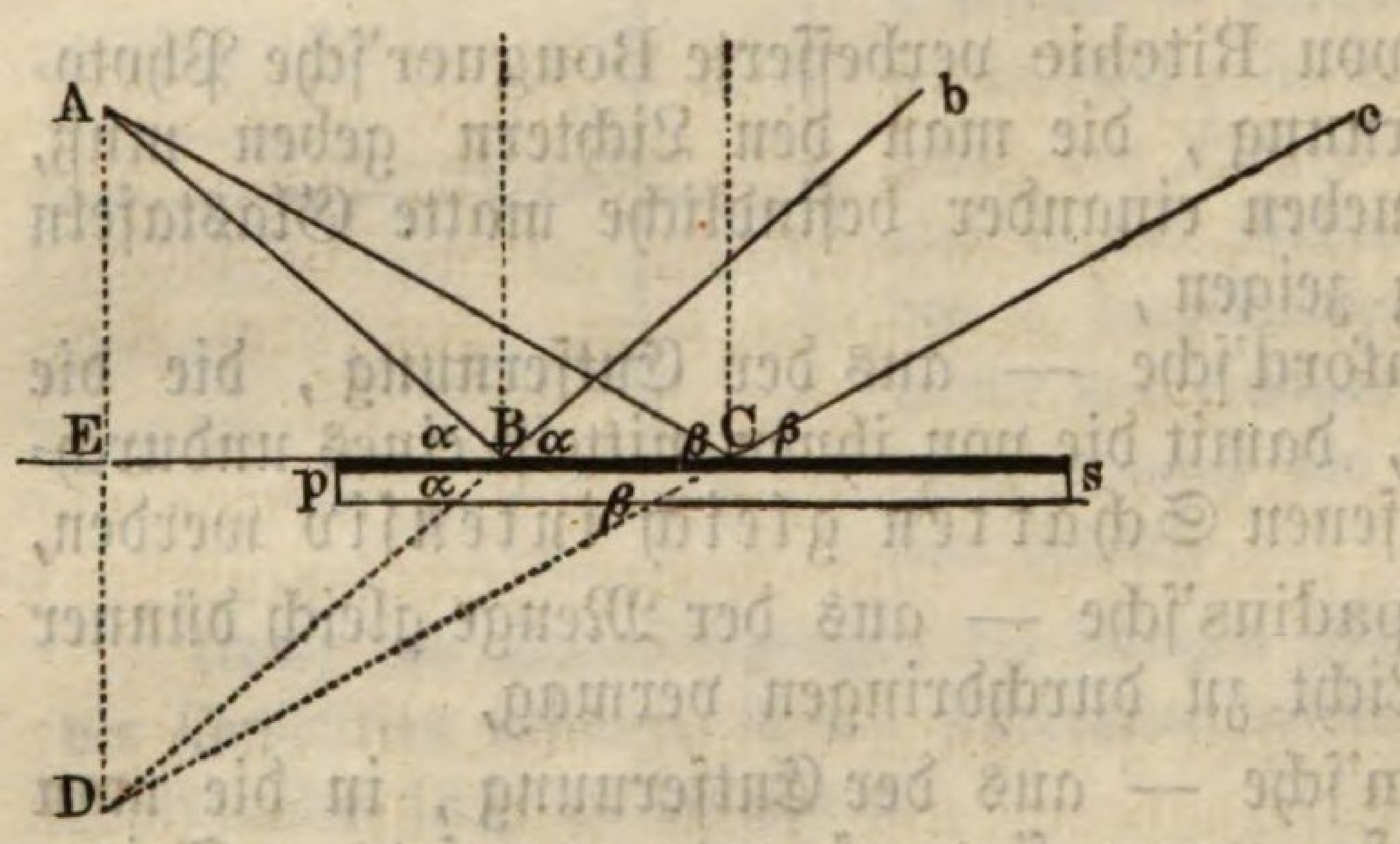
2) Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.*)

Von beiden Thatsachen überzeugt man sich, wenn man mittelst eines Fernrohrs, welches um die horizontale Axe eines verticalen, in Grade ꝛc. eingetheilten Kreises, also in verticaler Ebene beweglich ist, nach einem Fixstern und dann nach seinem Spiegelbilde in einer Quecksilberoberfläche (künstlichem Horizont) visirt.

§ 97. Aus beiden Gesetzen folgt, daß ebene Spiegel (Planspiegel) zwar die Richtung der Lichtstrahlen, aber nicht ihre gegenseitige Lage ändern; d. h. parallele Strahlen sind auch nach der Reflexion parallel, divergente in gleichem Maße divergent.

Das Erste ergiebt sich unmittelbar aus der Gleichheit der Gegenwinkel.

Fig. 97.



In Betreff der divergenten Lichtstrahlen AB und AC (Fig. 97), welche auf den Planspiegel sp fallen, ist zunächst ersichtlich, daß sie mit den reflectirten Strahlen Bb und Cc in einer Ebene liegen müssen. Verlängert man nun Bb und Cc bis zum Durchschnitt D, so ist $\triangle$ ABC $\cong$ DBC (nach Plan. § 49), also $\angle$ A = D.

Zieht man nun noch AD, welche die erweiterte Spiegelebene in E treffen mag, so ist $\triangle$ AEB $\cong$ DEB (Plan. § 44) und AE = ED, AE $\perp$ EBC.

Es scheinen also Bb, Cc, überhaupt alle von A ausgehenden Lichtstrahlen, nach der Reflexion von einem Punkt D zu kommen, welcher eben so weit hinter dem Spiegel, als A vor demselben, und

---

*) Bei der Bestimmung beider Winkel bezieht man die Strahlen auf die Richtung des Einfallslothes.

zwar in der von A aus auf die erweiterte Spiegelebene gefällten Senkrechten liegt. Was für einen Punkt gilt, gilt auch für jeden Körper (jede Gesammtheit von Punkten).

Das Bild ist dem Object congruent (symmetrisch).

Was ist die Bedingung dafür, daß ein gegebenes Object sich ganz oder theilweise in einem gegebenen Spiegel für ein gegebenes Auge abspiegle? — Abspiegelung horizontaler oder verticaler Gegenstände in Spiegeln, die gegen den Horizont unter einem Winkel von 45° geneigt sind. (Polemoskop.) — Unsre gewöhnlichen Spiegel sind Quecksilberspiegel, bei denen aber die vordere Glasfläche auch spiegelt und ein matteres Bild erzeugt.

Auf den Gesetzen der Reflexion an Planspiegeln beruht die Einrichtung des Heliostats und des Gauss'schen Heliotrops.

Ein Object zwischen zwei parallelen Planspiegeln erzeugt in jedem derselben (unendlich) viele, immer entferntere, deshalb immer kleinere (nämlich?) und immer undeutlichere Bilder.

Das Letzte hat seinen Grund darin, daß die entfernteren Bilder durch eine mehrmalige Reflexion der Lichtstrahlen zwischen den beiden Spiegeln zu Stande kommen, und daß bei jeder Reflexion Licht verloren geht.

Zwischen zwei „Winkelspiegeln," deren Winkel ein aliquoter Theil von 360° ist, erscheint ein Gegenstand so oft mal, als der Winkel in 360° enthalten ist. Bei andern Winkeln kann ein richtig placirtes Auge auch ein Bild mehr sehen.

Die Figur, welche das Gesetz veranschaulicht, erhält man leicht, wenn man jedes Bild in dem einen Spiegel als Object für den andern auffaßt, bis die Bilder hinter die Spiegelfläche fallen, in welcher sie sich abspiegeln sollen, oder die Verbindungslinie mit dem Auge nicht die Spiegelfläche selbst, sondern ihre Erweiterung trifft.

Hierauf beruht das von Joh. Baptista Porta 1558 erfundene und von Brewster verbesserte Kaleidoskop (Nürnberger Strahlenkästchen).

§ 98. Die gekrümmten Spiegel unterscheidet man in concave (Hohlspiegel) und convexe (erhabene) und beide nach der speciellen Art der Krümmung in sphärische, parabolische, cylindrische, konische u. s. w.

Bei den sphärischen Spiegeln, welche man stets durch die Ebene eines Kugelkreises abzugrenzen pflegt, heißt der Mittelpunkt C der Kugel, zu welcher der Spiegel als Theil der Oberfläche gehört, der geometrische und der Mittelpunkt der Spiegelfläche O der optische Mittelpunkt, eine durch beide gezogene gerade Linie die Axe des Spiegels.

Sphärische Hohlspiegel. 1) a. Betrachtet man zunächst Strahlen, welche von einem Punkt der Axe kommen, so ist für's erste aus Fig. 98 ersichtlich, daß, wenn der Punkt in unend-

licher Entfernung liegt, die von ihm ausgehenden Strahlen also der Axe parallel sind, dieselben sich nach der Reflexion an einem sphärischen Hohlspiegel etwa in der Mitte von OC schneiden.

Fig. 98.

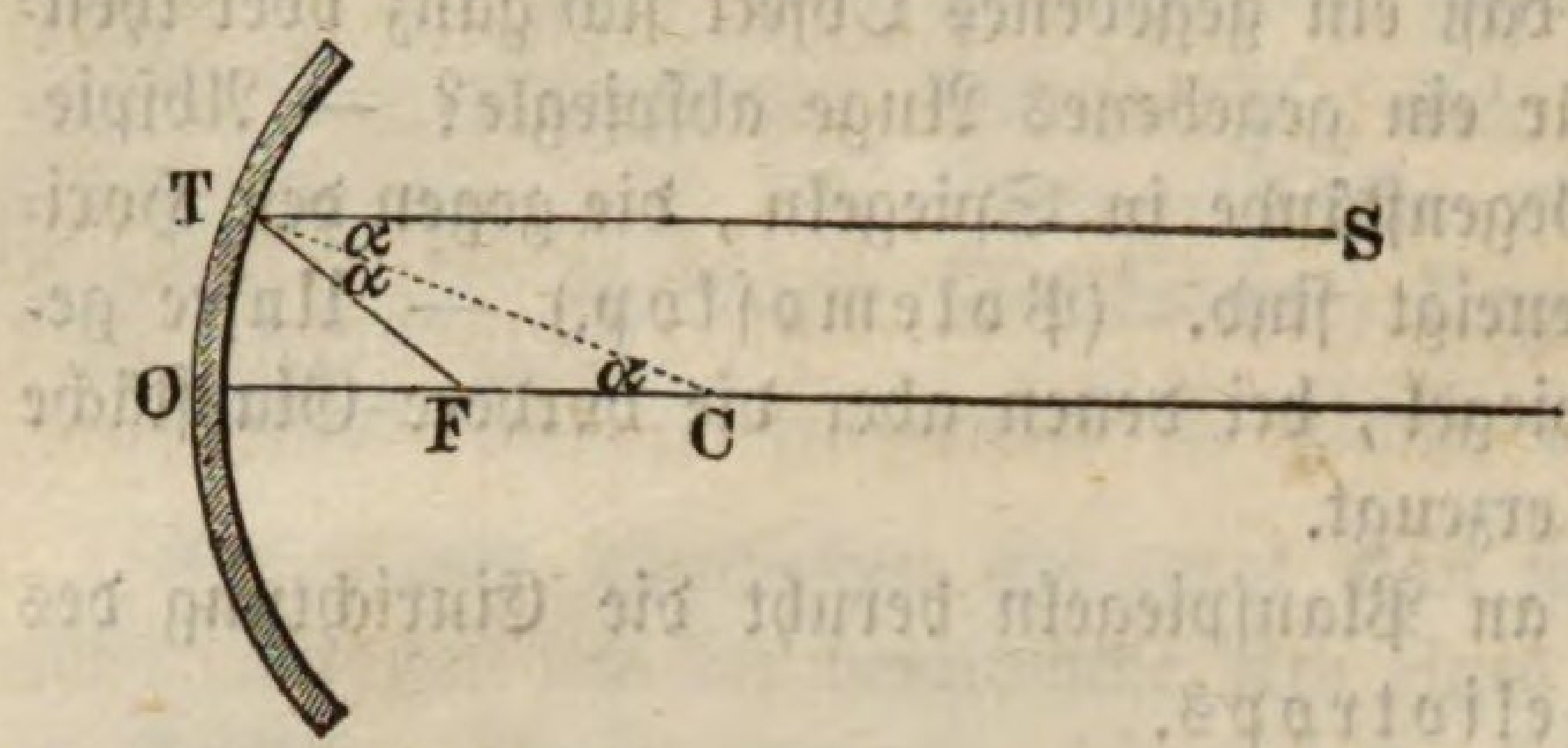
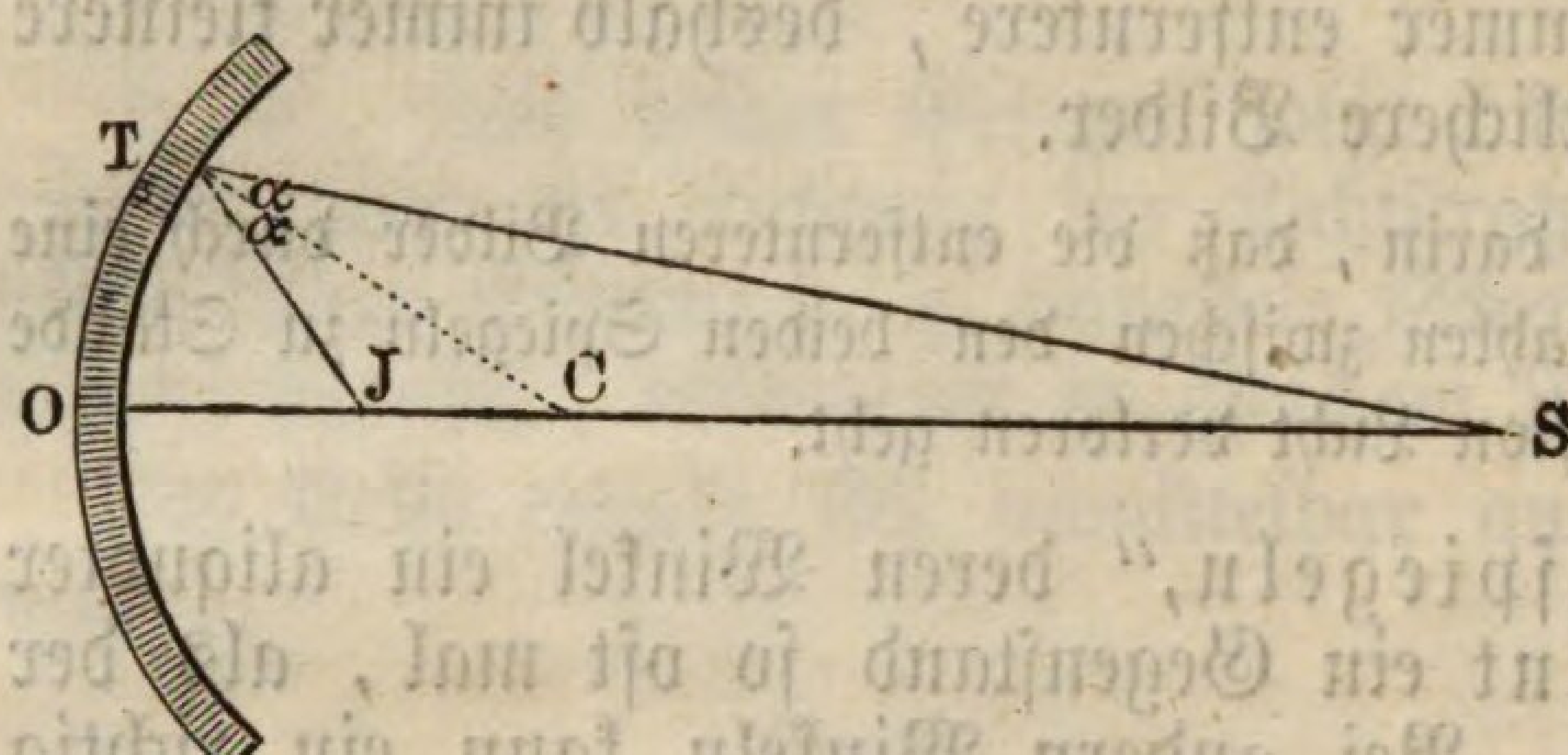


Fig. 99.



Denn der in der Axe gehende Strahl geht (weshalb?) in sich selbst zurück, und ein beliebiger anderer Strahl ST trifft den ersten in F. Da nun FC = FT, und für Strahlen, welche in unmittelbarer Nähe des in der Axe gehenden einfallen, FT = FO anzunehmen ist, ergiebt sich FC = FO. Diese letzteren Strahlen sind aber die vorzugsweise wirkenden.

Der in der Mitte zwischen O und C liegende Punkt F heißt der (Haupt-) Brennpunkt (focus), seine Entfernung von O, nämlich FO, die Brennweite (f, Focaldistanz) des Spiegels. Die sphärischen Hohlspiegel selbst heißen Brennspiegel. (Grund der Benennung.)

Brennraum, Brennlinie, Katakaustika.

1) b. Liegt der leuchtende Punkt nicht in unendlicher Entfernung, sondern wie S in Fig. 99, so schneidet sich der durch C gehende „Hauptstrahl" SC mit dem beliebigen ST in J, und es ist (nach Planim. § 130) CS : CJ = ST : TJ.

Wenn nun SO = d, CO = r, JO = i ist, so hat man für Strahlen ST, die sehr nahe an SO liegen und somit zu den vorzüglich wirkenden gehören, JT = JO und ST = SO = d anzunehmen, also $d - r : r - i = d : i$, folglich $rd + ri = 2di$. Trägt man nun für r seinen Werth 2f ein, so erhält man nach Division mit 2fdi $\frac{1}{d} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$ und $i = \frac{df}{d - f}$.

In dem Punkt J vereinigen sich demnach alle dem Hauptstrahl unmittelbar benachbarten Strahlen wieder so, wie sie in S vereinigt waren; J ist also der Ort eines wirklichen (physischen) Bildes von S.

Ist $d < f$, so wird i negativ; d. h. Punkt J fällt hinter den Spiegel; er ist alsdann nicht mehr der Vereinigungspunkt der reflectirten Strahlen, sondern ihrer Verlängerungen; er ist der Ort eines

nur geometrischen (virtuellen) Bildes, wie auch das von einem Planspiegel erzeugte Bild nur ein geometrisches ist.

Aus $d = \infty$ und $i = f$, $d = r$ und $i = r$, $d = f$ und $i = \infty$, $d < f$ und i negativ, ergiebt sich die Bewegung des Bildes, wenn der leuchtende Punkt auf der Axe aus unendlicher Entfernung bis an den Spiegel heranrückt.

Als Gesammt-Resultat erhält man also, daß die sphärischen Hohlspiegel die Sammlung (Convergenz) der Strahlen befördern; d. h. daß sie parallele Strahlen convergent, divergente weniger divergent, oder parallel, selbst convergent machen.

(Convergente Strahlen, die füglich außer Acht gelassen werden können, werden natürlich noch convergenter.)

2) Für Strahlen, welche von einem Punkt außerhalb der Axe kommen, gilt alles bisher erwiesene eben so in Beziehung auf den durch den geometrischen Mittelpunkt C gehenden „Hauptstrahl", wie in 1) in Bezug auf den in der Axe (also ebenfalls durch C) gehenden Hauptstrahl.

Um den Ort des (wirklichen oder nur geometrischen) Bildes für einen Punkt außerhalb der Axe zu bestimmen, genügt es, den durch den Mittelpunkt gehenden, in sich selbst zurückkehrenden Hauptstrahl und einen der Axe parallelen, der ja nach der Reflexion durch den Brennpunkt gehen muß, zu zeichnen.

Hiermit hat man auch das — physische oder geometrische — Bild eines Gegenstandes, wenn man zunächst die Bilder der äußersten Punkte und des in der Axe liegenden bestimmt.

Zugleich ergiebt sich aus dieser Zeichnung, daß sowohl die vor dem Spiegel entstehenden, also physischen Bilder, als die geometrischen, um so größer werden, je weiter sie sich vom Spiegel entfernen, und daß alle physischen Bilder verkehrt, alle geometrischen aufrecht sind.

Befindet sich das Object im geometrischen Mittelpunkt, so entsteht das Bild eben daselbst und ist dem Object gleich, ohne sich mit ihm zu decken, da es ein umgekehrtes ist. Befindet sich das Object im Brennpunkt, so ist sein Bild zugleich in unendlicher Entfernuug vor dem Spiegel und hinter demselben und hat an diesen beiden Stellen entgegengesetzte Eigenschaften. —

Die Brennspiegel benutzt man zu Reverbèren, z. B. an Leuchtthürmen, Locomotiven u. s. w.

§ 99. Die convexen sphärischen Spiegel begünstigen — wie man sich leicht überzeugt — die Divergenz der Lichtstrahlen (d. h ?); man nennt sie deshalb Zerstreuungsspiegel.

Die von ihnen erzeugten Bilder sind also sämmtlich geometrische, hinter dem Spiegel erscheinende. Lichtstrahlen, welche der Axe parallel auffallen, sind nach der Reflexion so divergent, daß sie rückwärts

verlängert, sich etwa in der Mitte zwischen dem geometrischen und dem optischen Mittelpunkte O treffen.

Dieser Punkt heißt der negative (oder virtuelle) Brennpunkt oder der Zerstreuungspunkt und seine Entfernung von O die Zerstreuungsweite (f).

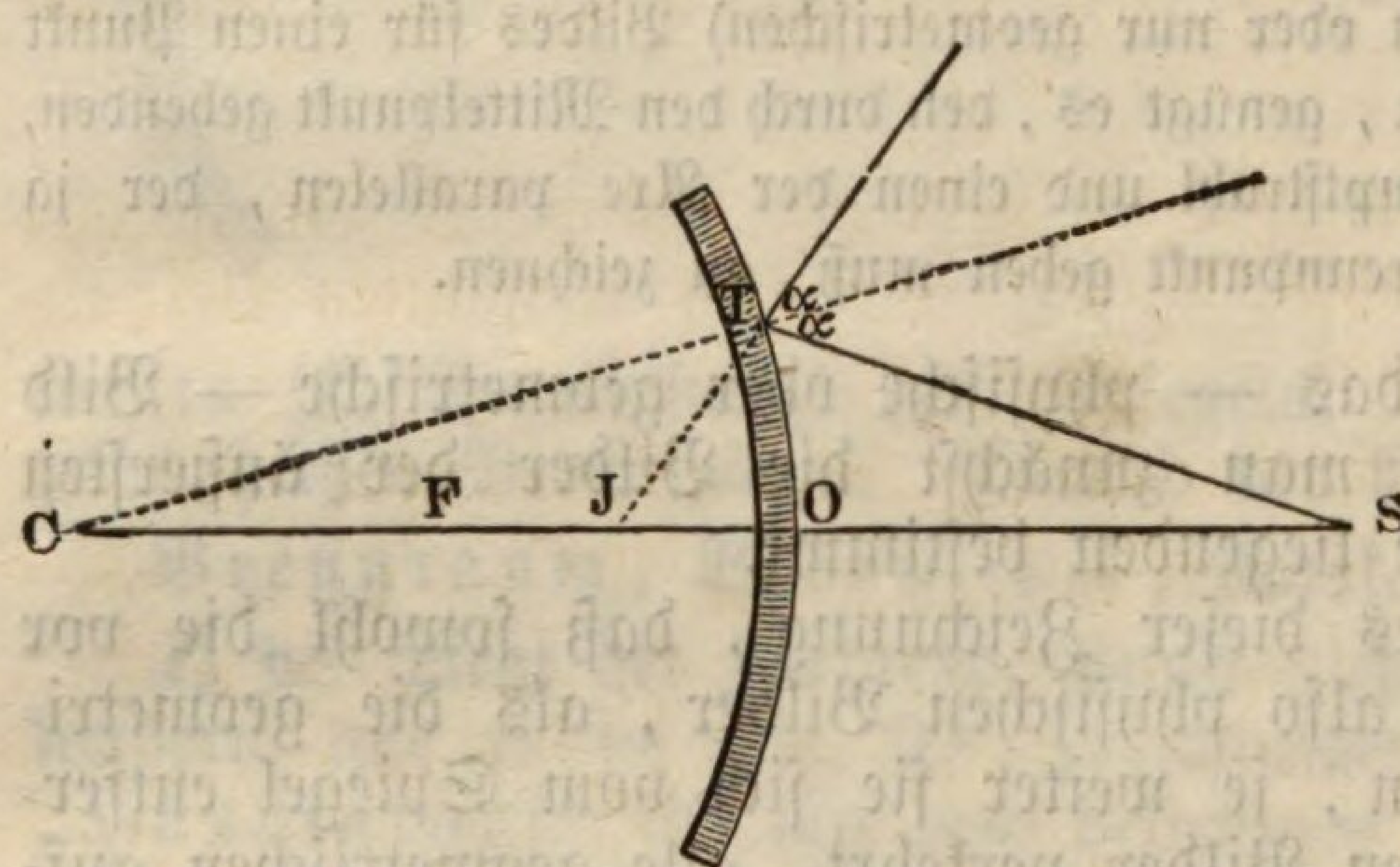
Dieß ergiebt sich in ähnlicher Weise wie im vorigen § 1, a.

So wie durch Wendung des Spiegels von rechts nach links der Radius r und mit ihm die Brennweite f negativ wird, muß auch die Entfernung jedes anderen physischen Bildes i negativ werden.

Die Formel des vor. § geht also über in $\frac{1}{d} - \frac{1}{i} = -\frac{1}{f}$ und

$i = \frac{df}{d+f}$ — vorausgesetzt, daß unter i nur die „absolute" Entfernung des unzweifelhaft hinter dem Spiegel erscheinenden Bildes von O verstanden wird.

Fig. 100.



Man gelangt zu dieser Formel auf dieselbe Weise wie im vorigen § 1, b, wenn man in Fig. 100 den Satz in Planim. § 130, Anmerk. auf das Dreieck JST anwendet. Man erhält wiederum CS : CJ = ST : TJ, demnach $d + r : r - i = d : i$ und $\frac{1}{d} - \frac{1}{i} = -\frac{1}{f}$.

Daß sämmtliche Bilder zwischen F und O zu Stande kommen und, wenn sie von Körpern herrühren, aufrecht und um so größer sind, je näher sie an O heranrücken, findet man auf dieselbe Weise wie im vorigen §.

§ 100. Die convexen Cylinderspiegel können längs ihren Seiten (also in der Richtung der Axe des Cylinders) als Planspiegel, in einer darauf senkrechten als sphärische convexe Spiegel angesehen werden. Sie erzeugen also offenbar geometrische Bilder, welche aber die Objecte verzerrt zeigen müssen (weshalb?). Aehnliches gilt von convexen Kegelspiegeln.

Katoptrische Anamorphosen.

C. Die Dioptrik

oder die Lehre von der Brechung (Refraction) des Lichtes.

§ 101. Ein Lichtstrahl, welcher aus einem (durchsichtigen) Medium in ein anderes schief gegen die trennende Fläche übergeht, wird von seinem Wege abgelenkt. Man nennt diese Ablenkung **Brechung** oder **Refraction**. Sie geschieht nach folgenden Gesetzen:

1) Der einfallende Lichtstrahl, der gebrochene Strahl und das Einfallsloth liegen in einer Ebene (die Einfallsebene ist auch die Brechungsebene).

2) Ein Strahl, welcher in ein dichteres Medium übergeht, wird im Allgemeinen dem Einfallsloth genähert (ihm **zu** gebrochen); geht er in ein dünneres über, so wird er **von ihm ab** gebrochen (von ihm entfernt).

Eine Ausnahme bilden die verbrennbaren Stoffe (Alkohol, Aether, Oele, z. B. Citronen-Oel, Cassia-Oel u. a., ferner Benzol, Diamant u. a. m.), welche mehr als andere gleich dichte oder sogar dichtere Substanzen den Lichtstrahl dem Einfallsloth nähern.

3) Für je zwei bestimmte Medien steht der Sinus des Brechungswinkels zum Sinus des Einfallswinkels in einem constanten Verhältniß. **Gesetz des Snellius.**

Bezeichnet man den Einfallswinkel mit i, den Brechungswinkel mit r, so ist beim Uebergang des Strahls aus Luft in Wasser $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{4}{3}$,

. . . . Glas $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{3}{2}$.

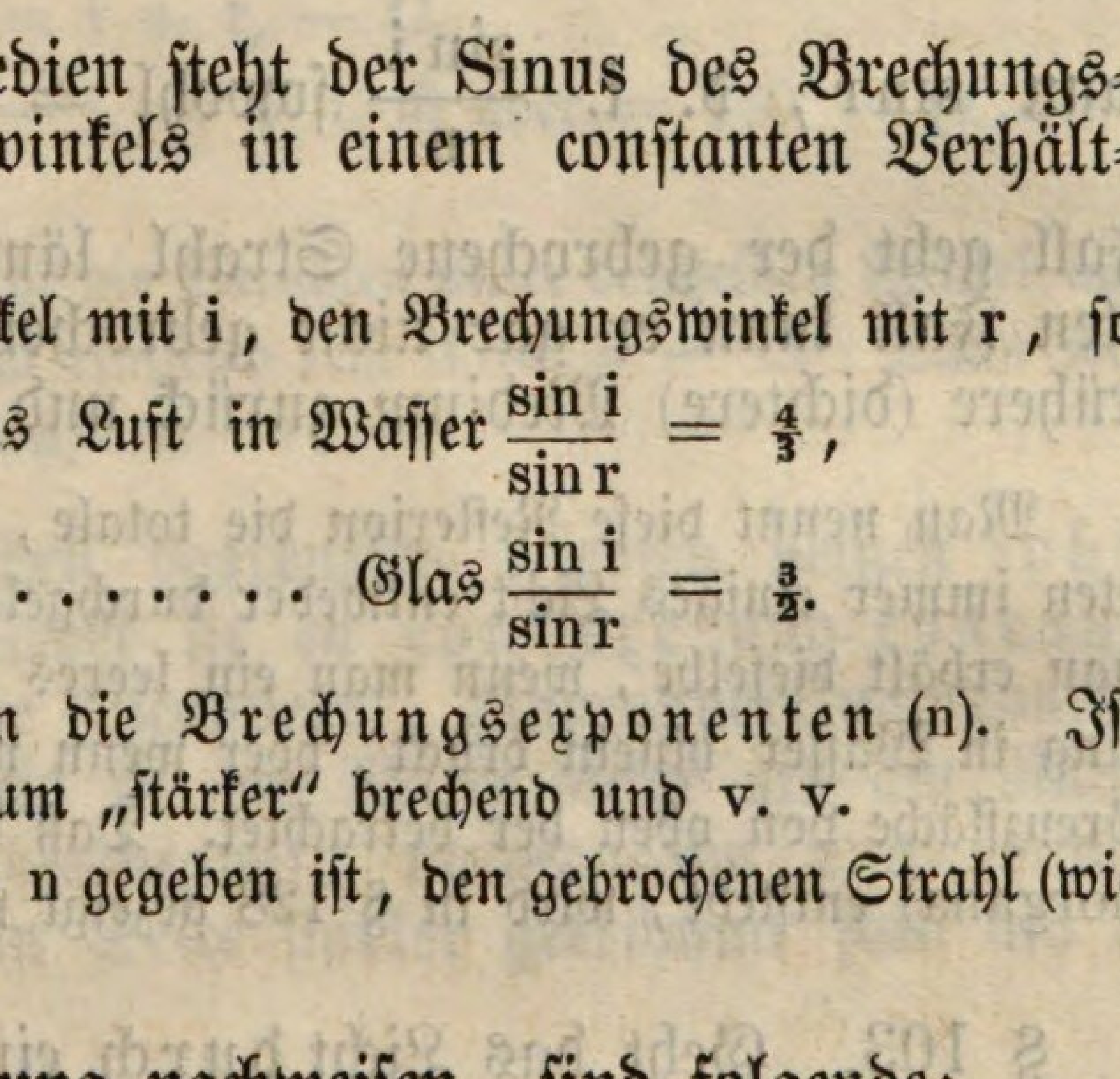
Die Brüche $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$ u. s. w. heißen die **Brechungsexponenten** (n). Ist $n > 1$, so heißt das brechende Medium „stärker" brechend und v. v.

Hiernach kann man, wenn i und n gegeben ist, den gebrochenen Strahl (wie nämlich?) zeichnen.

Thatsachen, welche die Brechung nachweisen, sind folgende:

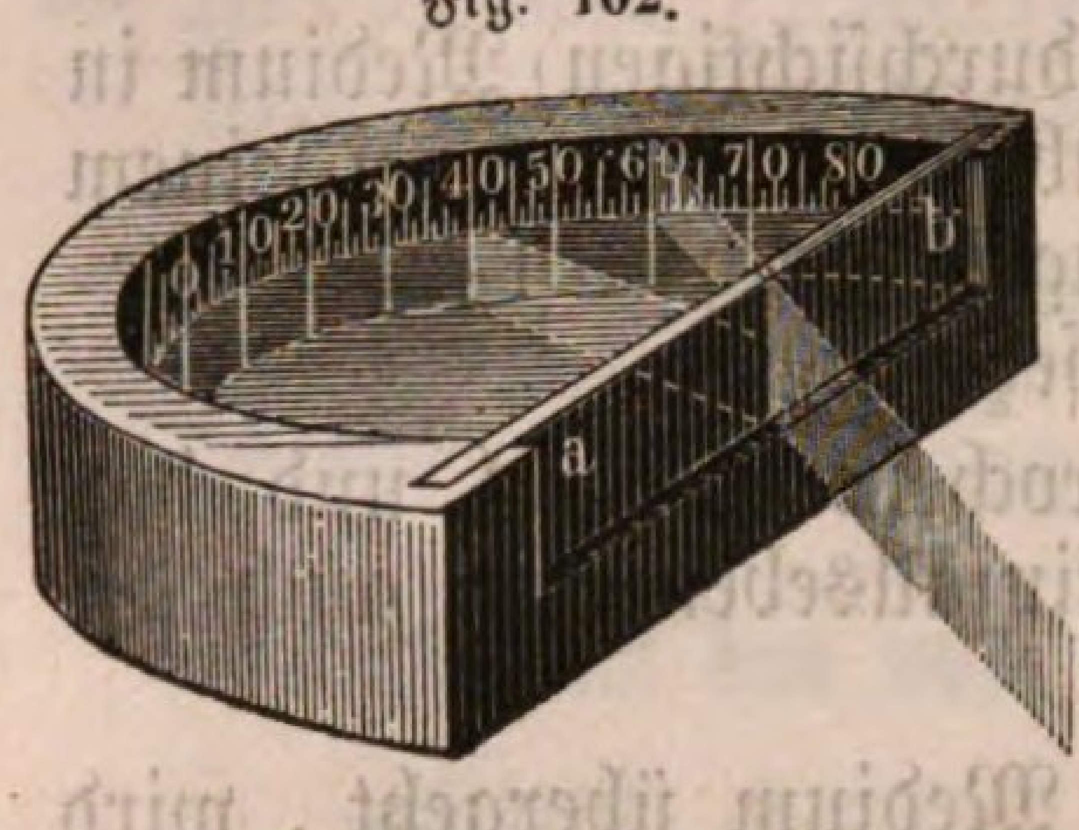
Ein gerader Stab, der schief in Wasser hineingehalten wird, erscheint an dem Punkt, wo er ins Wasser tritt, gebrochen, so daß die im Wasser befindlichen Theile gehoben erscheinen. Eben so scheint der Boden eines Gefäßes sich zu heben, wenn man Wasser hineingießt.

Fig. 101.



(Wie ist der Versuch anzustellen?) Der Punkt a in Fig. 101 erscheint dem Auge o in a_1, also in der Richtung $a_1$bo; da nun das Licht nicht den Weg aa_1bo zurückgelegt haben kann, muß es die Linie abo durchlaufen haben.

Fig. 102.



Die Größe der Ablenkung kann man — allerdings nicht sehr genau — mittelst eines 2 bis 3 Zoll hohen Kastens mit senkrechter Wand (Fig. 102) messen, dessen Grundfläche ein Halbkreis, dessen krumme Seitenwand von dem Mittelpunkt des Bogens an durch verticale Striche in Grade getheilt ist, während die ebene Seitenwand ab aus Glas besteht, das bis auf einen, vom Mittelpunkt des Kreises ausgehenden, verticalen schmalen Streifen gefirnißt ist. Füllt man den Kasten bis zur Hälfte mit Wasser (oder einer andern Flüssigkeit) und stellt vor die Oeffnung ein Licht, so kann man den Gang der Strahlen in der Luft und im Wasser verfolgen und den Ablenkungswinkel messen.

§ 102. Wenn der Brechungsexponent n, d. i. $\frac{\sin i}{\sin r} < 1$ ist, so kann sin r, d. i. $\frac{\sin i}{n}$ sowohl $= 1$ als > 1 werden. Im 1sten Fall geht der gebrochene Strahl längs der trennenden Fläche; im 2ten Fall kann er gar nicht gebrochen werden, er kehrt also in das frühere (dichtere) Medium zurück und wird total reflectirt.

Man nennt diese Reflexion die totale, weil bei der in § 96 — § 100 betrachteten immer einiges Licht entweder durchgelassen oder verschluckt (absorbirt) wird; man erhält dieselbe, wenn man ein leeres Reagentienfläschchen in schiefer Richtung in Wasser hinein drückt, oder wenn man Benzol auf Wasser gießt und die Grenzfläche von oben her betrachtet. Daß durch dieselbe die Luftspiegelung (Fata morgana) entsteht, wird in § 128 gezeigt werden.

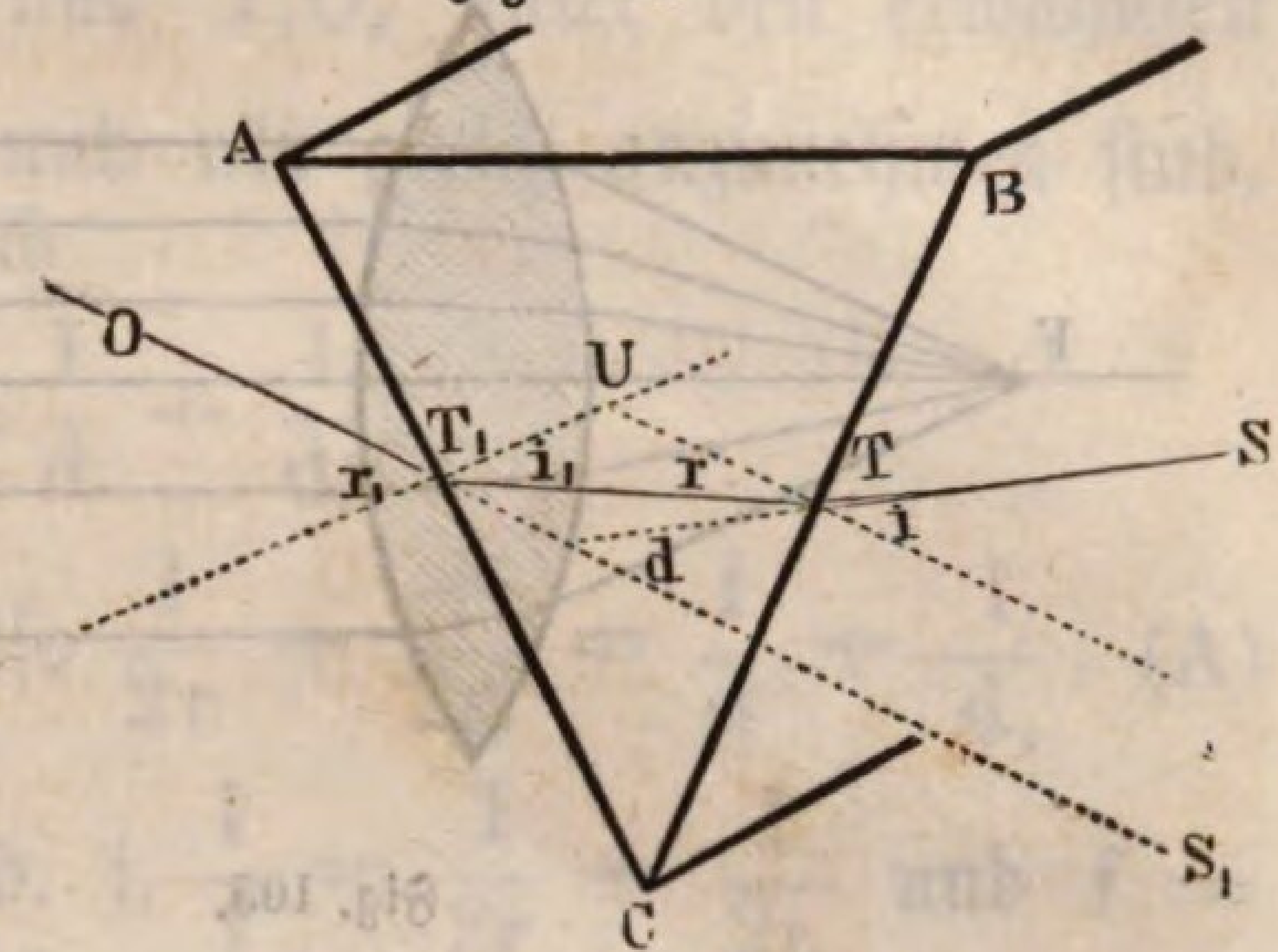
§ 103. Geht das Licht durch ein Medium, welches von parallelen Ebenen begrenzt ist, so wird es zwar zweimal abgelenkt, ist aber bei seinem Austritt in das frühere Medium in seiner Richtung nicht geändert.

Dieß folgt aus der Gleichung $\frac{\sin i}{\sin r} = n$, da n constant ist. (Fensterscheiben).

Demzufolge wird auch ein Lichtstrahl, der aus der Luft durch mehrere einander in parallelen Ebenen begrenzende und eben so nach außen begrenzte Medien hindurchgeht, bei seinem Austritt in die Luft der ursprünglichen Richtung parallel sein.

Ist aber das Medium, durch welches der Lichtstrahl geht, von zwei nicht parallelen Ebenen begrenzt, ist es z. B. ein gerades dreiseitiges Prisma, so muß der Strahl, wie Fig. 103 zeigt, beim Austritt eine andere Richtung haben, als beim Eintritt.

Fig. 103.



Brechende Flächen AC und BC, brechender Winkel C, Ablenkungswinkel d. In Folge dieser Ablenkung erscheinen Gegenstände, welche man durch ein Prisma sieht, von ihrer Stelle gerückt, nämlich nach dem brechenden Winkel zu.

Ist z. B. der Weg eines Strahles STT,O, so sieht das Auge in O den Punkt S in der Richtung OT,S,.

Eine gerade Linie, welche der brechenden Kante parallel ist, erscheint gebogen — weshalb?

Die Größe des Ablenkungswinkels d ist, wenn i und i, die Einfallswinkel, r und r, die Brechungswinkel sind, $= i + r_{,} - C$.

Denn es ist $d = i - r + r_{,} - i_{,}$; $r + i_{,}$ ist aber $= 180^{0} - (T_{,}TC + TT_{,}C)$ d. i. $= C$.

Für den Fall, daß $i = r_{,}$, d. h. die Strahlen unter demselben Winkel austreten, unter welchem sie ins Prisma einfielen, ist $d = 2i - C$. Dann wird die Ablenkung ein Minimum, also constant.

§ 104. Die von Kugelflächen begrenzten Medien heißen sphärische Linsen. Man unterscheidet sie in convexe und concave, und weiterhin in convex-convexe (biconvexe), planconvexe und concav-convexe, welche letzteren ebenfalls in der Mitte dicker als am Rande sind, und in concav-concave (biconcave), planconcave und convex-concave, welche an der concaven Seite stärker gekrümmt sind als an der convexen.

Concav-convexe und convex-concave Linsen heißen auch Menisken (*μήνη*, *μηνίσκος* Mond) oder periskopische Linsen.

Die Zeichnung aller Arten Linsen ist hiernach leicht.

Die Mittelpunkte der Kugeln, deren Calotten die Linsenflächen sind, nennt man die geometrischen Mittelpunkte, eine durch sie gelegte Linie die Axe der Linse. Sie geht — aus geometrischen Gründen — durch die Mittelpunkte der Calotten (die optischen Mittelpunkte der Linse).

1) Betrachtet man, wie bei den Hohlspiegeln, zunächst Strahlen, welche von einem Punkt in der Axe kommen, so erhellt aus

Fig. 104.

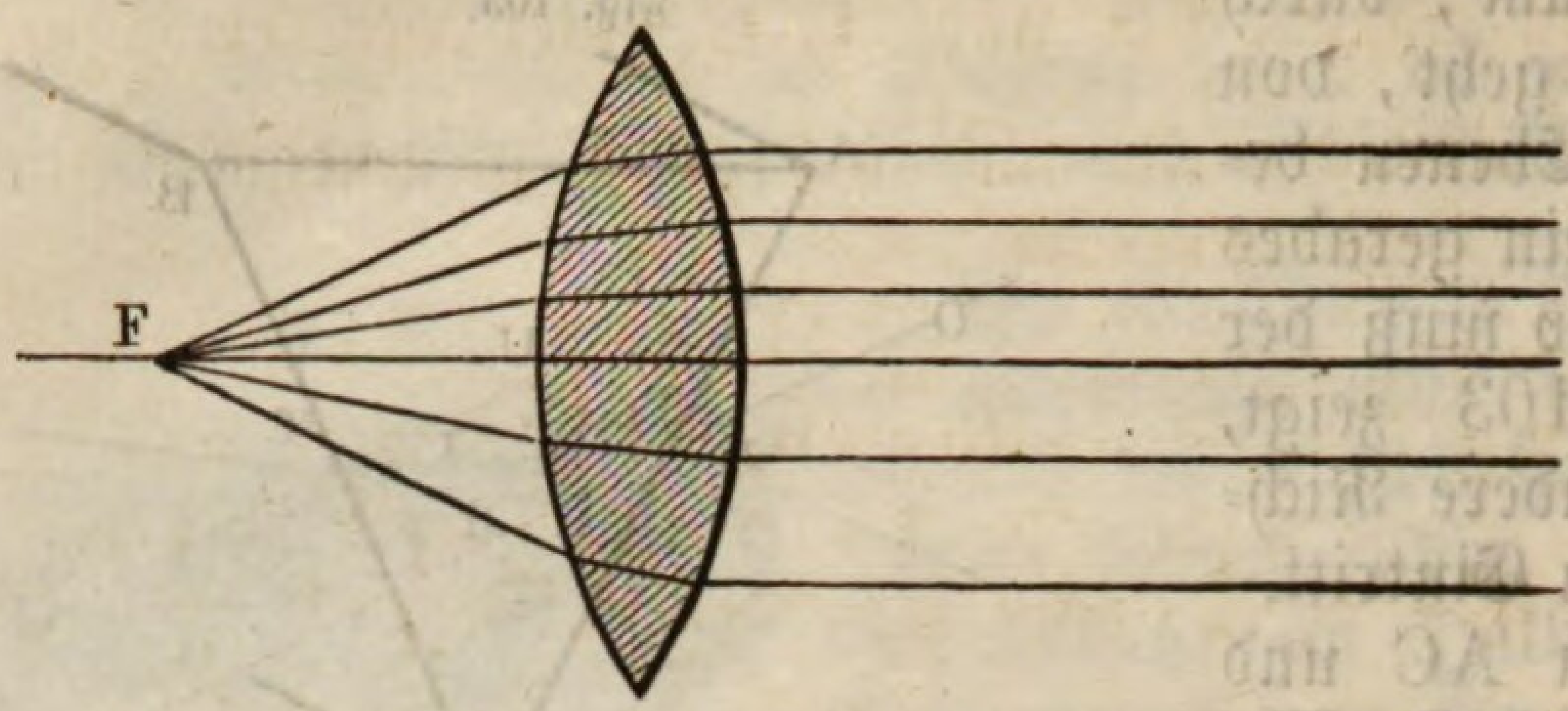
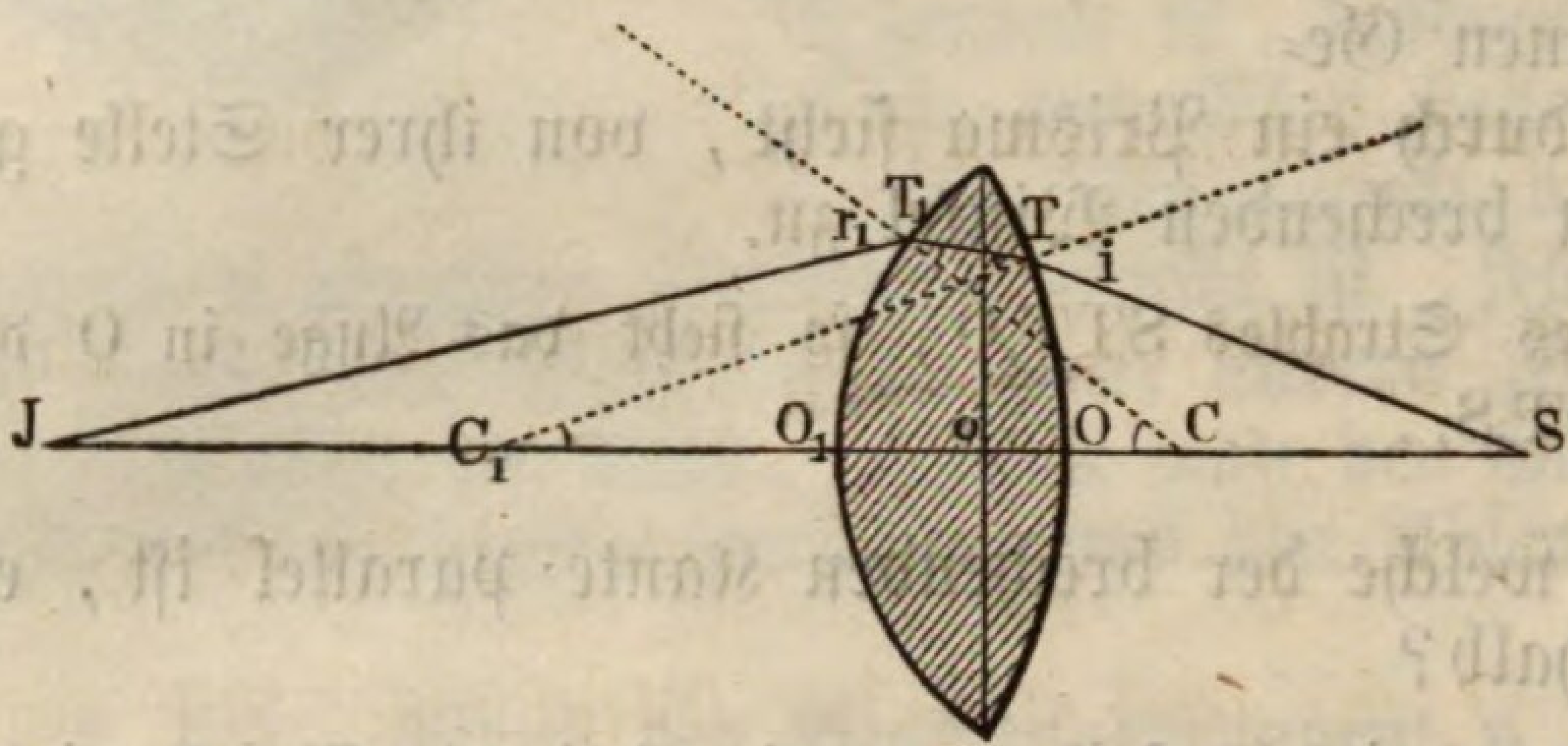


Fig. 105.



Figur 104, daß, wenn der Punkt unendlich entfernt ist, die von ihm *ausgehenden* Strahlen sich nach der Brechung in einer *convexen sphärischen Linse* in der Nähe eines Punktes F hinter der Linse vereinigen, welcher auch hier der *Brennpunkt* (focus) heißt.

Wie findet man ihn mittelst der Sonne?

Schon hieraus geht hervor, daß die *convexen Linsen* eben so, wie die *concaven Spiegel*, die Sammlung der Strahlen begünstigen; sie heißen deshalb *Sammellinsen*, *Brennlinsen*. *Brennweite* f; *Brennraum*; *Diakaustika*.

Ist der leuchtende Punkt S (Fig. 105) nicht unendlich entfernt, so schneidet sich der durch C gehende „Hauptstrahl" mit dem beliebigen STT,J in J, und es ist, wenn i der Einfallswinkel ist, $\angle$ C,TT, der Brechungswinkel r, $\angle$ TT,C der zweite Einfallswinkel i,, endlich r, der zweite Brechungswinkel.

Denkt man sich statt des Strahls STT, einen dem Hauptstrahl so unmittelbar benachbarten, daß ST = SO = d und JT, = JO, = d, anzunehmen ist, so kann man statt der Exponenten $\frac{\sin i}{\sin r}$ und $\frac{\sin r,}{\sin i,}$, welche beide = n sind, auch resp. $\frac{i}{r}$ und $\frac{r,}{i,}$ setzen. Es ist also r : i = i, : r, und r + i, : i + r, = r : i = 1 : n. Da nun r + i, = C + C, und i + r, = C + C, + S + J ist, so erhält man (C + C,) (n — 1) = S + J.

Setzt man ferner auf Grund der Formel $b = \frac{r\pi w}{180^\circ}$ (Plan. § 163) für die Centriwinkel w ihre Werthe $\frac{180^\circ b}{\pi r}$, so kann man die Gleichung

mit $\frac{180^\circ}{\pi}$ und, da die Bogen TO und T,O, unter den erwähnten Voraussetzungen verschwindend klein und als gleich anzunehmen sind, mit b dividiren. Man erhält demnach

$$\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_{,}}\right)(n-1) = \frac{1}{d} + \frac{1}{d_{,}}.$$

Für Glas und Luft ist $n = \frac{3}{2}$, also $\frac{1}{2r} + \frac{1}{2r_{,}} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d_{,}}$. (A)

Für $d = \infty$ ergiebt sich $\frac{1}{d_{,}}$, d. i. $\frac{1}{f} = \frac{1}{2r} + \frac{1}{2r_{,}}$ und $f = \frac{2rr_{,}}{r + r_{,}}$. Trägt man in der Formel (A) für $\frac{1}{2r} + \frac{1}{2r_{,}}$ den Bruch $\frac{1}{f}$ ein und bezeichnet man die Entfernung des Bildes von der Linse mit i (imago), so erhält man $\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{i}$, eine mit der für Hohlspiegel geltenden (§ 90, 1, b) ganz identische Gleichung. Nur sind hier die physischen Bilder (für positive i) hinter der Linse, während sie bei Hohlspiegeln vor denselben sich befinden.

Ist die Linse gleich gekrümmt, so ist $f = r$; ist sie planconvex, der eine Radius r, also ∞, so ist $f = 2r$; ist sie concav-convex, also der eine Radius $r_{,}$ negativ und der Zahlenwerth $r_{,} > r$, so wird $f = \frac{2rr_{,}}{r_{,} - r}$.

Endlich ergiebt sich noch, daß bei $d = f$ $i = \infty$, und bei $d < f$ i negativ, das Bild also nur ein geometrisches (virtuelles) ist.

2) Kommen die Lichtstrahlen von einem außerhalb der Axe (aber in ihrer Nähe) liegenden Punkte, so geht der durch den Mittelpunkt der Linse (o) gehende Strahl ziemlich ungebrochen hindurch, weil die beiden Linsenflächen bei O und O, als parallel angesehen werden können, und die andern Strahlen verhalten sich zu dem eben erwähnten Hauptstrahl eben so, wie in 1) sämmtliche Strahlen zum Hauptstrahl.

Den Ort des Bildes kann man durch Zeichnung leicht ermitteln, wenn man den durch den Mittelpunkt der Linse o gehenden und den der Axe parallelen nimmt, welcher letztere ja durch den Brennpunkt gehen muß.

Somit erhält man die Bilder von Körpern, und man überzeugt sich leicht, daß für ihre Größe und Umkehrung dieselben Gesetze gelten, wie für die durch Hohlspiegel erzeugten Bilder.

Die Uebereinstimmung zeigt sich auch darin, daß, wenn das Object sich in einer Entfernung gleich der doppelten Brennweite befindet, das Bild eben so weit von der Linse entfernt ist.

§ 105. Die concaven sphärischen Linsen befördern die Divergenz der Lichtstrahlen (d. h.?); man nennt sie deshalb Zerstreuungslinsen.

Negativer Brennpunkt oder Zerstreuungspunkt, Zerstreuungsweite ähnlich wie bei convexen Spiegeln.

Die von ihnen herrührenden Bilder sind sämmtlich geometrische, stehen aufrecht und auf derselben Seite, wo sich das Object befindet; sie sind sämmtlich kleiner als die sie erzeugenden Objecte und um so kleiner, je weiter sie sich von der Linse entfernen, je näher sie also dem Zerstreuungspunkte kommen.

Den Ort des Bildes erhält man, wenn man in der Formel $\frac{1}{2r} + \frac{1}{2r_{,}} = \frac{1}{d} + \frac{1}{i}$ sowohl r als $r_{,}$ negativ annimmt.

Bei planconcaven Linsen hat man den einen Radius $= \infty$ zu setzen und bei convex-concaven den größeren Radius positiv zu lassen.

Schließlich ist zu bemerken, daß, wenn bei irgend einer Art Linsen reine Bilder entstehen sollen, die Oeffnung der Linse (d. h. der Winkel, unter welchem die Linse vom Brennpunkt aus erscheint) höchstens 5—10° betragen darf. Blendung.

§ 106. Mit jeder Brechung des Lichtes ist — wie man an jedem Glasprisma bemerkt, durch welches man sieht — eine Zerstreuung in Farben verbunden.

Diese „chromatische Dispersion" ist zuerst von Newton in folgender Weise untersucht worden:

1) Läßt man in ein durch Fensterladen verfinstertes Zimmer durch eine kleine Oeffnung im Laden horizontale Sonnenstrahlen eintreten, so bilden sie auf einer gegenüber stehenden weißen Wand ein weißes rundes Sonnenbild — in Folge der geradlinigen Fortpflanzung des Lichts. Wird der Strahlenkegel aber durch ein horizontales Prisma (mit dem brechenden Winkel nach unten) geleitet, so ist das Sonnenbild wesentlich verändert, nämlich 1) höher, 2) nicht rund, sondern ein verticales schmales Rechteck, dessen kürzere (horizontale) Seiten etwas nach außen gebogen sind, 3) nicht weiß, sondern farbig, und zwar von unten nach oben roth, orange, gelb, grün, hellblau, indigo und violett. Man nennt dieses Farbenbild das Sonnenspectrum.

Nr. 1 erklärt sich aus § 103, Nr. 2 und 3 durch die Annahme, daß das weiße Sonnenlicht aus unendlich vielen verschieden-brechbaren Strahlen besteht, deren kreisrunde Bilder sich, je nach der größeren Brechbarkeit, von der unteren Grenze an aufwärts schieben und so die für unser Auge kenntlich verschiedenen 7 Farbentöne erzeugen.

(Bedingungen, unter welchen der Versuch gut gelingt. Die Gestalt des Spectrums und die Ausbreitung der einzelnen Farben in ihm hängt vom Einfallswinkel, dem brechenden Winkel und der Substanz des Prisma ab.)

Daß diese 7 (oder 6, in so fern hellblau und indigo doch blau ist) „prismatischen Farben" (Regenbogenfarben) nicht wieder zerlegbar, daß sie — nach Newton's Ausdruck — homogenes Licht sind, erkennt man daraus, daß dieselben durch ein 2tes Prisma geleitet zwar wieder, je nach ihrer verschiedenen Brechbarkeit, verschieden abgelenkt, aber nicht in verschiedene Farben zerlegt werden.

(Zwei Experimente, das eine Newton's experimentum crucis.)

Auch werden Sonnenstrahlen, welche durch gewisse rothe Gläser oder blaue Flüssigkeiten gegangen und dadurch farbig geworden sind, nur verschieden abgelenkt, aber nicht in verschiedene Farben zerlegt.

§ 107. So wie man weißes Licht in die prismatischen Farben zerlegen kann, kann man es auch aus ihnen wieder zusammensetzen. Man braucht nur

entweder 1) an ein 3seitiges Prisma ein ihm congruentes, aus derselben Substanz bestehendes so anzulegen, daß sie ein Parallelepipedon bilden, und den Lichtstrahl durch 2 gegenüber liegende Flächen zu leiten,

oder 2) das Spectrum auf eine Sammellinse fallen zu lassen, welche um ihre doppelte Brennweite von dem Prisma entfernt ist, und den auffangenden Schirm in eben jener Entfernung hinter der Linse aufzustellen,

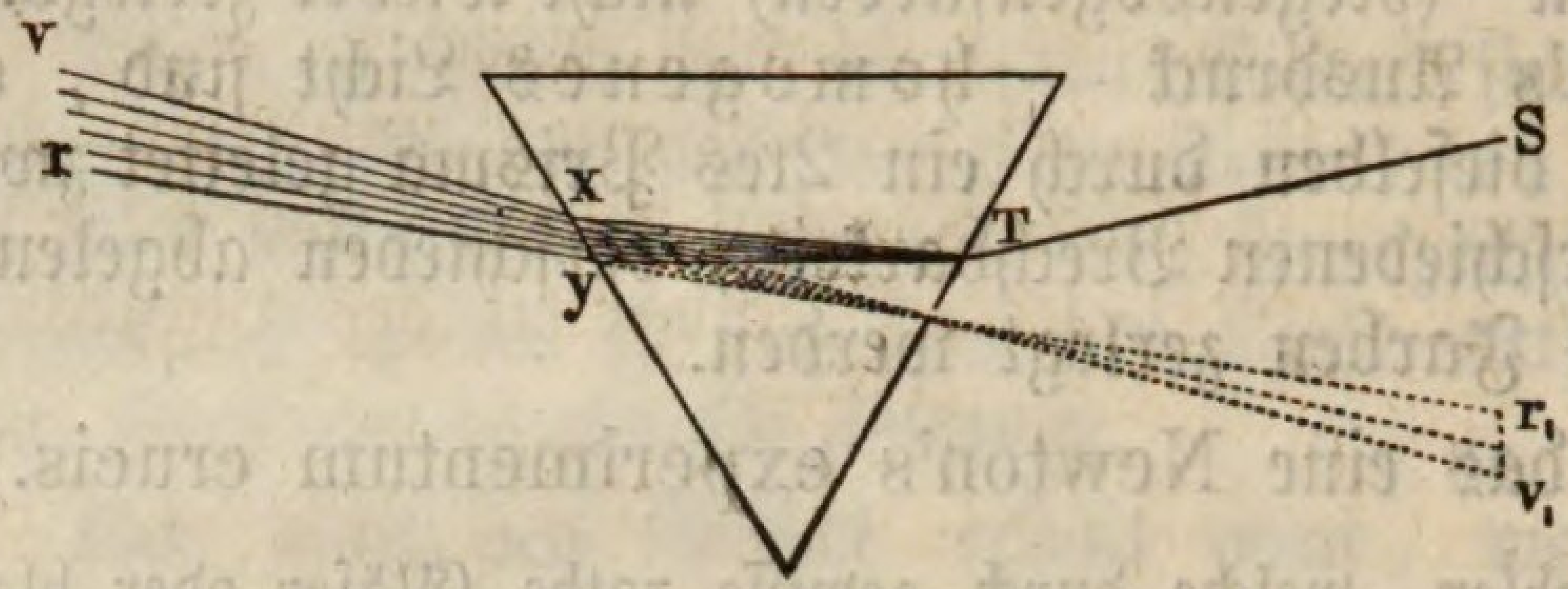
oder auch nur das Spectrum in der Nähe des brechenden Prisma aufzufangen. In diesem letzteren Falle vereinigen sich nur die mittleren Farbenkreise zu weiß, während die übrigen an der oberen Grenze einen bläulichen, an der unteren einen rothgelben Saum erzeugen.

Scheidet man bei dem 2ten Versuche dadurch roth aus, daß man zwischen Linse und Schirm in den Weg der rothen Strahlen einen undurchsichtigen Körper hält, so entsteht ein blaßgrünes Bild, welches mit dem ausgeschiedenen Roth weiß hervorbringt. Beseitigt man roth, orange und gelb (also in Summa orange), so bleibt blau. Scheidet man voon der andern Seite her violett aus, so bleibt gelb. Farben, welche sich zu weiß ergänzen (roth und grün, gelb und violett, blau und orange) heißen complementäre oder Contrastfarben. (Vergl. § 122.) Man erhält sie mittelst des zweiten Versuches, wenn man statt des undurchsichtigen Körpers ein schwach brechendes Prisma nimmt, welches die rothen u. s. w. Strahlen nach außen ablenkt.

Da man aus roth, gelb und blau die übrigen Farben durch Mischung erhalten kann, so läßt sich für jede der 3 genannten Farben die Mischung aus den beiden andern als complementäre Farbe bezeichnen.

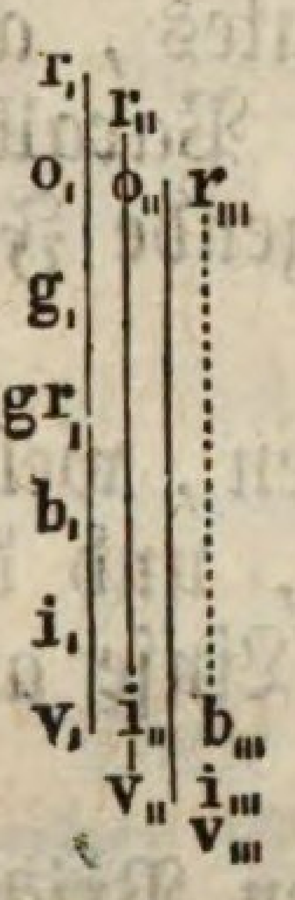
Aus der Zerlegung und Zusammensetzung des Lichtes erklären sich auch die Farbensäume, welche man wahrnimmt, wenn man durch ein Prisma sieht.

Fig. 106.



Fällt nämlich von einem weißen Punkt S auf dunklem Grunde ein Lichtstrahl ST (Fig. 106) auf ein durchsichtiges Prisma, so wird der Punkt S einem hinter dem Prisma in der Linie xv bei v befindlichen Auge als violetter Punkt in v, erscheinen; ist dasselbe in der Linie yr bei r, so erscheint er als rother Punkt r, u. s. w. Befindet sich das Auge unmittelbar hinter dem Prisma, so sieht es eine verticale Linie v,r,, nämlich violett, indigo u. s. w.

Fig. 107.



Eben so muß, wenn die brechende Kante horizontal ist, eine horizontale weiße Linie als ein prismatisch gefärbter Streifen erscheinen. Eine verticale weiße Linie SS, zeigt sich weiß, mit einem bläulichen Rande unten und einem röthlichen oben, weil die vom obersten Punkt S herrührende Linie v,i,b,g, . . r, (Fig. 107) mit den Linien, welche von den nächst darunter liegenden Punkten herrühren, v,, i,, b,, . . . o,,r,,, v,,,i,,,b,,, . . . r,,, (die in Fig. 107 neben einander gezeichnet werden mußten), sich zum Theil decken, so daß von dem obersten Punkt S nur die rothen, von dem untersten S, nur die violetten Strahlen unvermischt ins Auge gelangen.

Ein horizontales weißes Rechteck (und jede andere weiße Fläche auf dunklem Grunde) erscheint demnach nothwendig in der Mitte weiß und an dem untern Rande bläulich, an dem obern röthlich gefärbt.

Bei einem schwarzen Fleck auf weißem Grunde hat man die Ränder (Grenzen) auf weiß zu beziehen; so daß der obere Rand des schwarzen Flecks als unterer Rand der weißen Fläche aufzufassen ist u. v. v. Alles Gesagte gilt im Wesentlichen überhaupt von farbigen Flächen auf dunklem Grunde, weil . . . . ?

Bei dem eben erörterten subjectiven Phänomene ist also die verticale Farbenreihe die umgekehrte der beim objectiven in § 106 sich bildenden.

§ 108. Wenn man dafür sorgt, daß das Spectrum nicht von einem Lichtkegel, sondern (annäherungsweise) von einer Lichtlinie erzeugt wird — und das kann auf verschiedene Weise geschehen —, so erhält man reine (homogene) Farben, in welchen bei genauerer Beobachtung sich eine ungeheure Menge dunkler Linien zeigt. Dieselben sind über das ganze Spectrum, senkrecht auf seine Länge, unregelmäßig vertheilt, erscheinen aber immer in derselben Ordnung

und an derselben Stelle, was für Prismen man auch anwenden möge. Sie wurden von Wollaston entdeckt und von Fraunhofer genauer untersucht, und heißen die Fraunhofer'schen Linien.

Unter ihnen treten besonders 8 hervor, welche Fraunhofer bei roth anfangend, mit den Buchstaben A,B,C, ... H bezeichnete. Sie sind dem Sonnenlicht eigenthümlich, mag es nun directes, oder von weißen Wolken, oder von Planeten reflectirtes sein, und thun dar, daß in demselben Strahlen gewisser Brechbarkeit fehlen; und sie setzen uns in den Stand, die Intensität und Brechbarkeit des Lichtes an verschiedenen Stellen des Spectrums zu messen.

Getrübtes Sonnenlicht giebt ein etwas abweichendes Spectrum, das Licht der andern Fixsterne abweichende dunkle Streifen, glühende Metalldrähte, überhaupt glühende feste Körper ein continuirliches Spectrum ohne dunkle Linien, desgleichen Gaslicht und Lampenlicht; nur daß zuweilen ein heller Streifen im Gelb entsteht, welcher von glühendem Kochsalz (Chlornatrium) herrührt. Man kann diesen Streifen willkürlich erzeugen, wenn man in einer Spiritusflamme oder mattleuchtenden Gasflamme Kochsalz verflüchtigt; eben so erhält man durch glühendes Chlorlithium einen hellen Streifen im Roth, durch irgend ein Kalisalz einen hellen Streifen im Roth und einen an der Grenze von Indigo und Violett u. s. w.

Der für solche „Spectral-Analyse" erforderliche Apparat wird, wenn ein solcher zu beschaffen gewesen ist, am zweckmäßigsten beim Gebrauch erläutert, wenn nicht zu übergehen sein.

§ 109. Die natürlichen Farben undurchsichtiger und nicht spiegelnder Körper, welche durch Diffusion des Lichtes (§ 96) entstehen, erklären sich aus einem Vermögen der Körper, das Licht, welches sie empfangen, entweder unverändert zurückzuwerfen (weiße Körper), oder nur gewisse Strahlen zu diffundiren, andere ganz oder zum Theil zu absorbiren.

Die Körper, welche im weißen Licht weiß erscheinen, zeigen sich im rothen roth, im grünen grün u. s. w. Körper, welche sich im weißen Licht farbig zeigen, sind im farbigen entweder hell oder dunkel, je nachdem ihre natürliche Farbe mit der Farbe der auffallenden Strahlen übereinstimmt oder nicht.

Die mit der Diffusion innig verbundene Absorption des Lichtes durch undurchsichtige Körper besteht darin, daß das Licht an nicht glatten Flächen bis zu einer gewissen Tiefe eindringt und nach Zurücklassung von Farben als complementäre Farbe in das frühere Medium zurückkehrt.

Auch an dem (von durchsichtigen Körpern) durchgelassenen Licht findet eine solche Absorption statt, welche bei den verschiedenen Körpern verschiedene Farben trifft und mit der Dicke der Körper zunimmt.

Besonders merkwürdig ist die Absorption des Lichts in farbigen glühenden Gasen (§ 108 extr.). Läßt man nämlich Drummond'sches Licht, welches als von einem festen Körper (nämlich Kalk, welcher in einer Hydro-Oxygen-Gasflamme weiß glüht) herrührend ein continuirliches Spectrum erzeugt, durch solche farbige glühende Gase hindurchgehen, so tritt an die Stelle des dem Metall charakteristischen hellen Streifens ein dunkler. Es absorbirt also das glühende Gas gerade die Strahlen von seiner eigenen Farbe.

Aus dieser Erscheinung läßt sich die Existenz derjenigen Fraunhofer'schen Linien erklären, welche mit charakteristischen hellen Streifen zusammenfallen, z. B. der Linie D, welche mit der Natrium-Linie coincidirt; indem man nämlich annimmt, daß der glühende Sonnenkörper von einer ebenfalls glühenden Atmosphäre umgeben ist, welche Natrium in Gasform enthält. (Kirchhoff.) In der That wird auch, wenn man statt des Drummond'schen Lichtes intensives Sonnenlicht nimmt und dasselbe durch eine Natriumflamme gehen läßt, der dem Natrium angehörige Streifen besonders dunkel: weil ja die „Absorption durch die Natriumflamme" noch zu der „Absorption durch die Sonnen-Atmosphäre" hinzukommt.

§ 110. Eine eigenthümliche Art von Absorption des Lichts wurde von Brewster (1838) entdeckt und von ihm innere, von John Herschel epipolische Dispersion, und von Stokes, welcher sie am gründlichsten erforschte, Fluorescenz genannt.

Brewster hatte nämlich entdeckt, daß eine vollkommen farblose (wasserhelle) Lösung von schwefelsaurem Chinin, welche von einem Lichtkegel getroffen wird, an derjenigen Fläche, wo das Licht eintritt, eine schöne blaue Farbe zeigt. In ähnlicher Weise beobachtet man Farben an der Oberfläche einer Auflösung von Chlorophyll (Blattgrün), von Aesculin (Kastanienrinde) u. a. m., ferner am Flußspath (Fluorcalcium) und an Uranglas (Kanarienglas oder Anna-Glas).

Um das Wesen dieser Fluorescenz zu erkennen, ist folgender Versuch am geeignetsten: Man lasse ein reines Sonnenspectrum, welches durch ein Prisma von Flintglas (Kiesel, Kali und Bleioxyd) oder von Bergkrystall erzeugt ist, auf weißes Papier fallen, auf welches eine Chininlösung aufgestrichen ist; dann zeigt sich das Spectrum zwar von roth bis grün (inclus.) unverändert, aber in den mehr brechbaren Farben bläulich-weiß und in diesem Farbenschein noch weit über violett hinaus verlängert. Aus blau und violett kann aber jenes bläulich-weiß nur dann entstehen, wenn die erzeugenden Strahlen bei der Absorption im Chinin und nachherigen Diffusion theilweise in Strahlen geringerer Brechbarkeit verwandelt werden. In der That wird jener bläulich-weiße Schimmer, durch ein beliebiges Prisma gesehen, in alle prismatischen Farben zerlegt.

Die **Fluorescenz tritt also nur bei den brechbarsten Strahlen auf und hat in einer Verringerung der Brechbarkeit derselben ihren Grund.**

Dem entsprechend müssen auch die „ultravioletten" Strahlen, welche das Auge unter andern Umständen nicht wahrzunehmen vermag, in Strahlen niederer Brechbarkeit verwandelt und somit sichtbar werden.

Außer den ultravioletten Strahlen, welche vorzugsweise chemisch wirken, giebt es auch jenseits des Roths Strahlen, welche unser Auge nicht empfindet. Diese „ultrarothen" Strahlen, welche vorzugsweise Wärme erzeugen, erregen das Auge deshalb nicht zum Sehen, weil sie zu wenig brechbar sind. (cf. § 134 extr.)

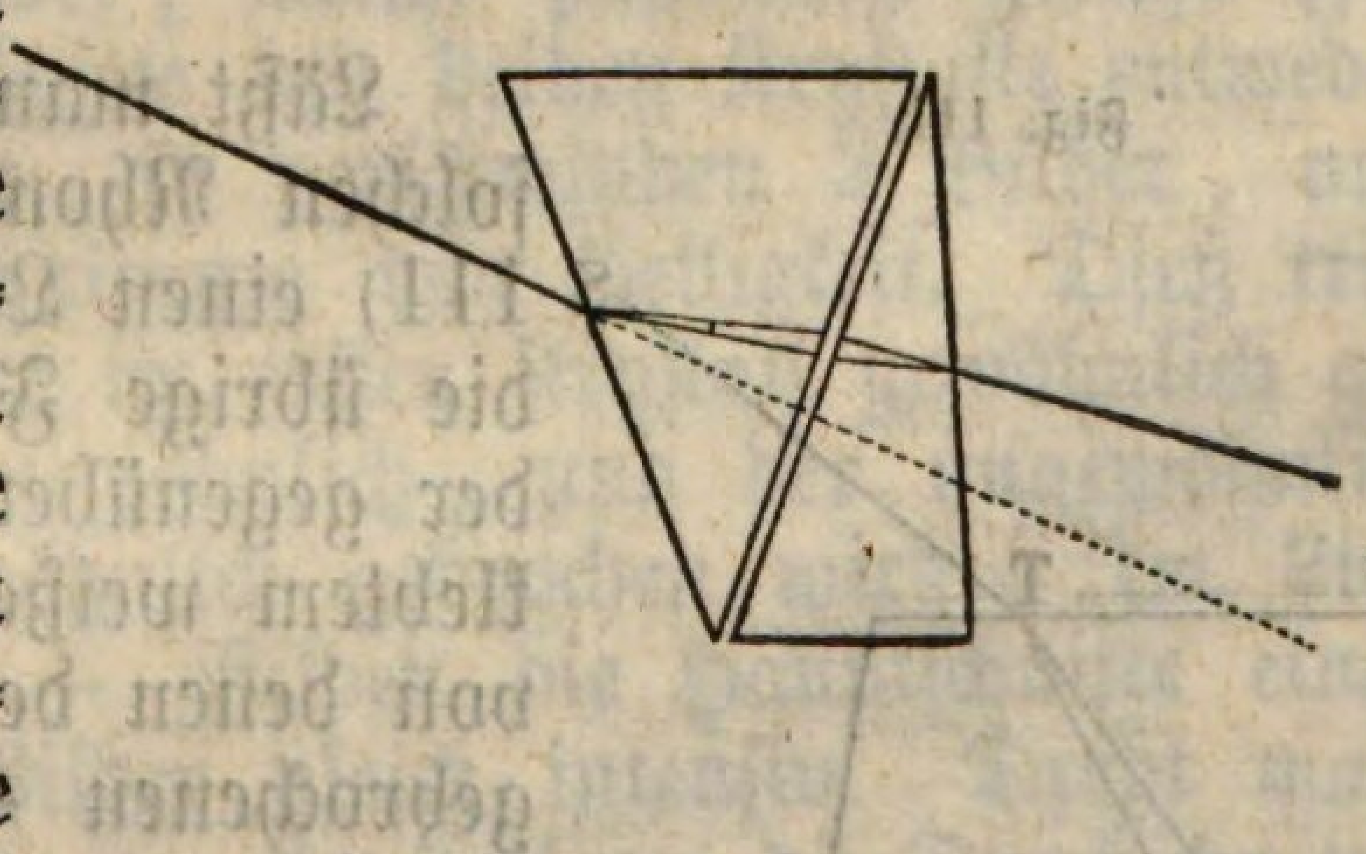
Erklärt man die Lichterscheinungen nach der Undulations-Hypothese, so zeigt sich zwischen Ohr und Auge die bemerkenswerthe Analogie, daß, so wie das Ohr den Schall nicht mehr wahrzunehmen vermag, wenn die Länge und Geschwindigkeit der Wellen steigend oder fallend eine gewisse Grenze überschreitet, auch das Auge seinen Dienst versagt, wenn die Länge der Lichtwellen unter die der violetten Strahlen hinabgeht oder über die der rothen sich erhebt.

Mit der Fluorescenz verwandt ist die Phosphorescenz des Diamants, des Flußspaths (Chlorophan's), welche durch bloßes Erwärmen, und der verschiedenen Arten Leuchtsteine, welche durch Insolation leuchtend werden.

§ 111. Da die Farbenzerstreuung zwar im Allgemeinen mit der Brechung, aber nicht im gleichen Verhältnisse zunimmt, — (Flintglas bricht z. B. das Licht nur wenig mehr als Crownglas, zerstreut es aber noch einmal so sehr) — so ist es möglich, das Licht zu brechen, ohne es in Farben zu zerstreuen. Linsen und Prismen, welche dieß thun, heißen **achromatisch.**

Ein achromatisches Prisma erhält man, wenn man an ein Crownglas-Prisma ein Flintglas-Prisma mit etwa halb so großem brechenden Winkel so anlegt, daß die brechenden Winkel nach entgegengesetzter Richtung liegen (Fig. 108). Dann wird die im 1sten bewirkte Farbenzerstreuung durch die im 2ten nach entgegengesetzter Richtung erfolgende aufgehoben, während die **Ablenkung nur vermindert** wird.

Fig. 108.



(Beide Prismen bilden zusammen ein Prisma von kleinerem brechenden Winkel, innerhalb dessen die Ablenkung eine äußerst geringe ist.)

Fig. 109.



Achromatische Linsen bestehen gewöhnlich aus einer biconvexen Crownglas-Linse und einer convex-concaven Flintglas-Linse, deren Zerstreuungsweite etwa doppelt so groß ist, als die Brennweite der ersten (Fig. 109).

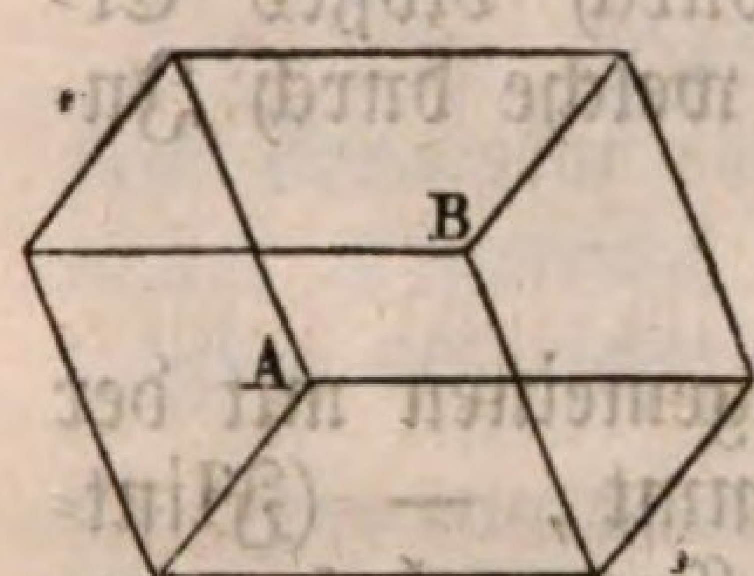
Denkt man sich die Axe der Linse gezogen, so kann man die Erklärung dieser Achromasie auf den vorigen Fall zurückführen.

(Euler, Klingenstierna. Dollond.)

D. Doppelte Brechung und Polarisation des Lichts.

§ 112. In vielen durchsichtigen Krystallen werden die Lichtstrahlen in 2 Theile getheilt, von denen der eine den bisher erörterten (gewöhnlichen) Gesetzen der Brechung folgt, der andere in ungewöhnlicher Weise abgelenkt wird. Diese Zerlegung, welche man die doppelte Brechung nennt, wurde von Erasmus Bartholin im Jahre 1669 am isländischen Kalkspath (Doppelspath, ein kohlensaurer Kalkkrystall) entdeckt.

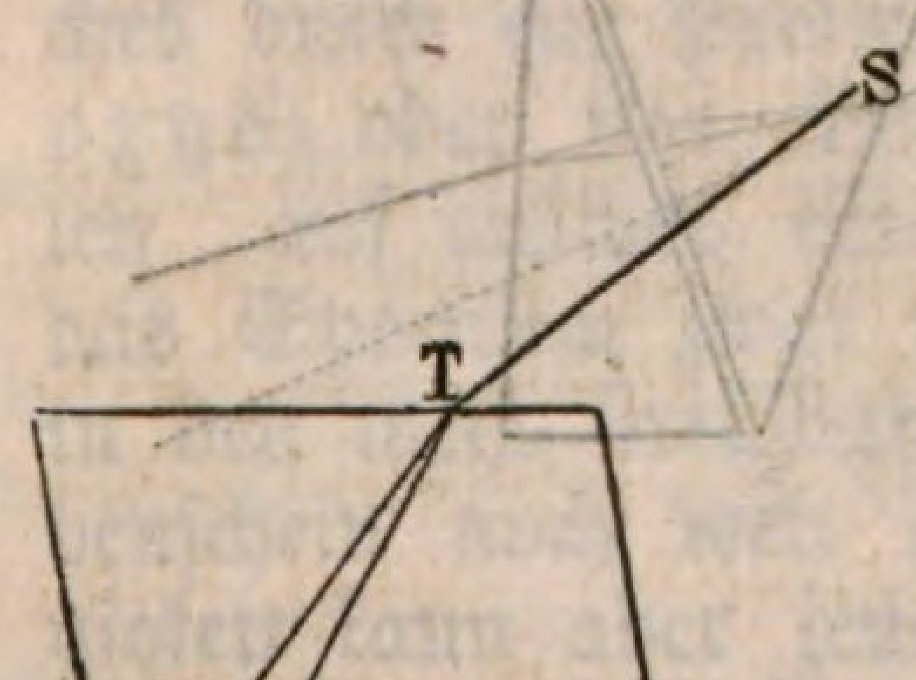
Fig. 110.



Der Doppelspath läßt sich durch vorsichtiges Spalten leicht auf ein (von 6 congruenten Rhomben begrenztes) Rhomboëder zurückführen, in welchem zwei einander gegenüber liegende Ecken nur stumpfe Winkel enthalten und die stumpfen Ecken heißen (A und B in Fig. 110). Die Linie AB, welche sie verbindet, heißt die Hauptaxe oder die Axe der doppelten Brechung und eine durch die Hauptaxe auf 2 Grenzflächen senkrecht gelegte Ebene der Hauptschnitt des Krystalls.

Da man aus jedem Doppelspath unendlich viel verschiedene Rhomboëder bilden kann, hat die Hauptaxe keine feste Lage, wohl aber eine constante Richtung; d. h. sie sind alle einander parallel.

Fig. 111.



Läßt man auf eine der Grenzflächen eines solchen Rhomboëders in einem Punkt T (Fig. 111) einen Lichtstrahl ST auffallen (indem man die übrige Fläche bedeckt): so zeigen sich auf der gegenüber liegenden Fläche oder darauf geklebtem weißen Papier die Lichtpunkte O und E, von denen der erste von dem — immer stärker gebrochenen — ordinären Strahl o (Brechrechungsexponent 1,6543), der andere von dem extraordinären e herrührt.

Oder: Man sieht durch einen solchen isländischen Krystall einen jeden Punkt doppelt.

§ 113. Untersucht man die Ablenkung des extraordinären Strahls e bei verschiedenen Richtungen des einfallenden Strahls, so findet man folgende 2 Gesetze:

1) Ist die Einfallsebene zugleich der Hauptschnitt (oder ihm parallel), so bleibt e in der Einfallsebene; ist dieselbe dem Hauptschnitt nicht parallel, so tritt e aus der Einfallsebene heraus, und zwar um so mehr, je mehr der Winkel, den die Einfallsebene mit dem Hauptschnitt bildet, sich einem Rechten nähert. Sein Brechungsexponent variirt zwischen 1,4833 und 1,6543.

2) In einem Falle tritt keine doppelte Brechung ein. Schleift man nämlich den Krystall so ab, daß die brechenden Grenzflächen auf der Hauptaxe senkrecht stehen, und läßt man den Strahl in der Hauptaxe einfallen, so geht er völlig ungebrochen durch.

Die Eigenschaft der doppelten Brechung haben nur diejenigen durchsichtigen Krystalle nicht, welche zu dem regulären (vielaxigen oder tesseralen) System gehören; die übrigen unterscheidet man, wenn sie eine krystallographische Hauptaxe haben, in positive (attractive) und negative (repulsive), je nachdem der Brechungsexponent der extraordinären Strahlen größer oder kleiner als der der ordinären ist.

Zu den letzteren gehören außer dem Doppelspathe noch der Würfelsalpeter (salpetersaures Natron), der Turmalin, Saphir, Smaragd u. a. m.; zu den positiven nur Quarz (Bergkrystall), Amethyst, Eis und wenige andere.

Haben die Krystalle keine Hauptaxe, so zeigen sie zwei Linien, längs deren keine Doppelbrechung erfolgt, also 2 optische Axen, wie z. B. Salpeter, Glimmer, Arragonit, Topas, Gyps, Zucker und andere.

Man nennt solche Krystalle zweiaxige Krystalle. Die Gesetze der Brechung in ihnen sind zu verwickelt, als daß eine kurze, übersichtliche Darstellung derselben möglich wäre.

§ 114. Ein Lichtstrahl, welcher durch 2 Doppelspathe geleitet wird, zeigt im Allgemeinen 4 Bilder, welche paarweise gleiche Intensität haben. Sind die Hauptschnitte der beiden Krystalle entweder parallel oder auf einander senkrecht, so verschwinden 2 Bilder, und die beiden andern erreichen ein Maximum von Helligkeit. Dieß tritt im 1sten Fall darum ein, weil der im ersten Krystall gewöhnlich gebrochene Strahl im zweiten nur gewöhnlich, und der ungewöhnlich gebrochene auch wieder nur ungewöhnlich gebrochen wird. Im 2ten Fall findet das Umgekehrte statt. — Bilden die Hauptschnitte einen Winkel von 45°, so sind alle 4 Bilder gleich intensiv. Dreht man, von dieser Lage ausgehend, den zweiten Krystall um die Durchschnittslinie der beiden Hauptschnitte, also auch um den durch den Krystall hindurchgehenden Lichtstrahl, so kann man das Zu- und Abnehmen der Bilderpaare leicht verfolgen.

Der Lichtstrahl erleidet also schon im ersten Rhomboëder durch Doppelbrechung eine eigenthümliche Veränderung, welche sich auf seine Seiten bezieht und sich darin zeigt, daß der Strahl sich bald der gewöhnlichen, bald der ungewöhnlichen Brechung ganz oder theilweise zu entziehen vermag, je nachdem er die eine oder eine andere Seite dem Hauptschnitt des zweiten Rhomboëders zuwendet. Ein solches Verhalten der Lichtstrahlen wird **Polarisation** genannt. (Malus 1810.)

§ 115. Außer der Doppelbrechung vermag auch die Spiegelung und die Transmission des Lichts unter geeignetem Winkel dasselbe zu polarisiren.

Läßt man nämlich einen Lichtstrahl auf eine spiegelnde Glastafel unter einem Winkel von 35° 25′ (oder 54° 35′ gegen das Einfallsloth) fallen und untersucht man den reflectirten Strahl mittelst eines Doppelspathes, so findet man, daß der Lichtstrahl im Doppelspath **nur gewöhnlich** gebrochen wird, wenn die Einfalls- (d. i. zugleich die Reflexions-) Ebene mit dem Hauptschnitt parallel ist, und **nur ungewöhnlich**, wenn beide Ebenen auf einander senkrecht stehen. In allen übrigen Lagen erleidet er die doppelte Brechung, aber — einen Fall ausgenommen — unter ungleicher Vertheilung des Lichtes auf den ordinären und den extraordinären Strahl.

Leitet man einen Lichtstrahl unter demselben Winkel auf eine dicke Glasplatte oder eine Schicht von Glastafeln und untersucht man das hindurchgelassene Licht, so zeigt sich das Entgegengesetzte.

Der unter jenem „**Polarisationswinkel**" reflectirte Strahl verhält sich also wie ein gewöhnlich gebrochener, der refrangirte dagegen wie der ungewöhnlich gebrochene.

Man kann den Versuch auch umkehren, nämlich den zweiten (prüfenden oder analysirenden) Doppelspath durch einen Glasspiegel ersetzen, welcher den — ordinären oder extraordinären — Strahl unter einem Winkel von 35° 25′ empfängt. Auch dann tritt die Reflexion an die Stelle der gewöhnlichen Brechung und die Transmission (oder, wenn der Spiegel geschwärzt ist, die Absorption) an die Stelle der ungewöhnlichen.

Werden beide Doppelspathe durch Glasspiegel ersetzt, welche die Lichtstrahlen unter dem Polarisationswinkel empfangen, so hat man die einfachste Form eines Polarisations-Apparates, dessen weitere Einrichtung am besten bei seinem Gebrauch erläutert wird.

(Biot's und Nörremberg's Polarisations-Instrument.)

Auch alle andern spiegelnden Flächen, mit Ausnahme der metallischen, polarisiren das Licht unter geeignetem Winkel, der immer das Complement des Brechungswinkels ist, da nach einem von Brewster gefundenen Gesetz der reflectirte Strahl stets auf dem gebrochenen senkrecht steht.

§ 116. Bringt man in den Weg eines polarisirten Lichtstrahls ein dünnes Glimmerblättchen, so kann eine theilweise **Depolarisi-**

rung erfolgen. Hat man nämlich den „Zerlegungsspiegel“ (Analyseur) eines Polarisations-Instrumentes so gestellt, daß alles von ihm empfangene Licht absorbirt (oder transmittirt) werden muß, so zeigt sich in dem Glimmerblättchen, bei einer bestimmten Lage desselben, eine aus blau und orange bestehende Figur, also eine Entpolarisirung in Beziehung auf diese Farben. (Aehnliches zeigen dünne Gypsblättchen, desgleichen schnell gekühlte oder gepreßte Gläser.) Dreht man dann den Zerlegungsspiegel um 90°, so gehen jene Farben allmählich in die complementären über.

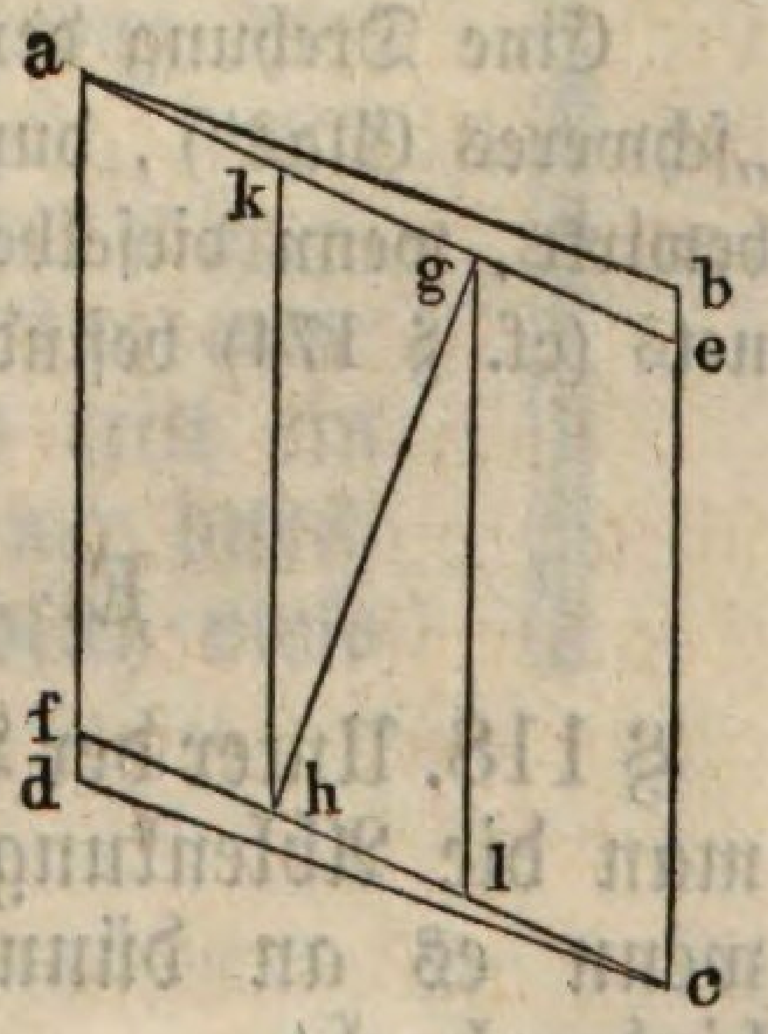
Noch merkwürdiger als diese „Farben im polarisirten Licht“ sind die farbigen Ringe doppelbrechender Krystalle im polarisirten Licht.

Man erhält dieselben mittelst des Polarisations-Instrumentes, wenn man einen convergenten Kegel polarisirten Lichtes auf jene Krystalle leitet, welche zu diesem Zwecke immer senkrecht auf die optische Axe abgeschliffen sein müssen. — Viel besser zeigen sie sich in der „Turmalinzange“, einem sehr bequemen kleinen Polarisations-Apparat, bestehend aus zwei Turmalinplättchen, welche parallel der krystallographischen Hauptaxe abgeschliffen und in zwei auf einander liegende Ringe so gefaßt sind, daß man das eine von beiden in seinem Ringe drehen kann.

Der Turmalin, ein doppeltbrechender, also polarisirender Krystall von sehr verschiedener Färbung, ist längs seiner Hauptaxe undurchsichtig; senkrecht darauf erscheint er im durchgehenden Licht in der Farbe, welche er im zurückgeworfenen zeigt, grün, braun u. s. w. Schleift man ihn in vorerwähnter Weise ab und leitet man polarisirtes Licht auf ihn, so läßt er dasselbe durch, wenn seine Hauptaxe auf der Polarisations-Ebene senkrecht ist; er absorbirt es, wenn jene Axe sich in der Polarisations-Ebene befindet. Eine solche Platte kann also statt des Zerlegungsspiegels am Polarisations-Instrument verwendet werden.

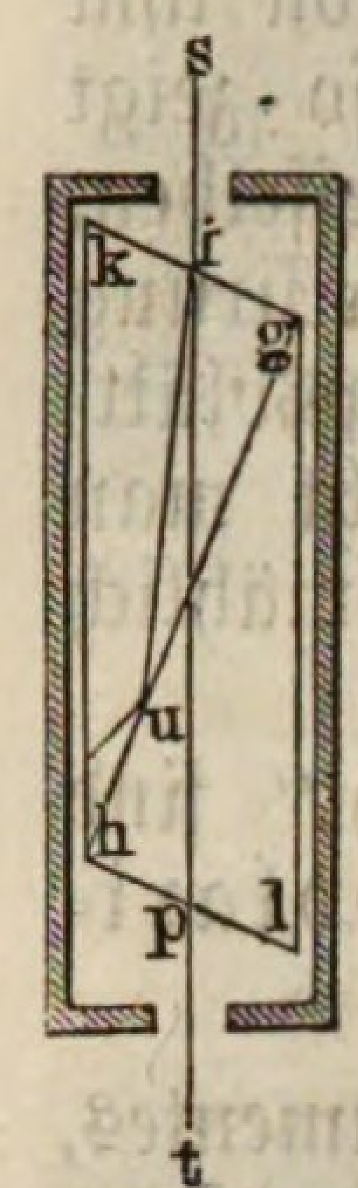
Um die Farbenringe zu beobachten, bringt man den zu untersuchenden Krystall zwischen die Plättchen der Zange.

Fig. 112.



Will man die Farbenerscheinungen in Glimmer- und Gypsblättchen oder in rasch gekühlten Gläsern hervorrufen, so bedient man sich mit Vortheil des Nicol'schen Prisma, welches ebenfalls ein kleiner Polarisations-Apparat — aber ohne Zerleger — oder auch als ein Zerleger anzusehen ist. Man erhält dasselbe, wenn man an einem Kalkspath-Rhomboëder die zum Hauptschnitt abcd (Fig. 112) senkrechten Flächen, welche bei a einen Winkel von 71° bilden, so lange abschleift, bis an ihre Stelle Winkel von 68°, nämlich ∠ eaf und ecf treten, dann in der auf ae und cf senkrechten Linie gh einen Schnitt senk-

Fig. 113.



recht auf den Hauptschnitt macht, die Schnittflächen polirt und mit Canada-Balsam wieder zusammenkittet. Legt man noch hk und gl ‖ ad und schneidet in diesen Linien das Prisma wiederum senkrecht auf den Hauptschnitt, so entsteht ein Prisma wie kglh in Fig. 113. Ein bei i einfallender Strahl si (natürlichen Lichtes) wird bei i zerlegt; der ungewöhnlich gebrochene Antheil geht in der Richtung ipt weiter, der gewöhnliche aber in der Richtung iu und erleidet am Canada-Balsam eine totale Reflexion, so daß nur ein Lichtbüschel, und zwar ‖ si, bei p aus dem Prisma heraustritt. Ist si ein polarisirter Strahl, so wird er bei i sich entweder der gewöhnlichen, oder der ungewöhnlichen Brechung entziehen, also entweder als extraordinärer Strahl bei p ins Auge treten, oder für dasselbe verloren gehen.

Hierauf gründet sich die Anwendung des Nicol'schen Prisma bei Betrachtung von Oelgemälden, von Gemälden unter Glas und von Gegenständen im Wasser. (Arago.)

§ 117. Die bisher betrachtete Polarisation heißt die geradlinige, im Gegensatz zu der von Fresnel entdeckten circularen und der von Brewster entdeckten elliptischen: Beide letztere Arten bestehen in einer Veränderung (Bindung, anscheinenden Aufhebung) des Polarisationszustandes eines geradlinig polarisirten Strahles durch Anwendung eines Verfahrens, dessen Wiederholung den ursprünglichen Polarisationszustand wieder herstellt. Sie unterscheiden sich von einander durch das angewendete Verfahren, welches bei der elliptischen in einer Spiegelung an ebenen Metallspiegeln unter geeignetem Winkel, bei der circularen in einer zweimaligen totalen Reflexion in einem Parallelepipedon von Glas (Fresnel'sches Parallelepipedon) besteht.

Die circulare Polarisation erleiden im polarisirten Licht Quarzplatten, welche senkrecht auf ihre Axe geschnitten sind, und von festen Körpern noch das chlorsaure Natron. — Rechts- und linksdrehende Bergkrystalle; rechts- und linksdrehende Flüssigkeiten. Das Saccharimeter von Soleil.

Eine Drehung der Polarisations-Ebene wird auch durch Bleiglas (Faraday's „schweres Glas"), durch Steinsalz, Wasser, Alkohol und andere Flüssigkeiten bewirkt, wenn dieselben sich zwischen den Polen eines sehr kräftigen Elektromagnets (cf. § 174) befinden.

E. Beugung und Interferenz des Lichts.

§ 118. Unter der Beugung (Inflexion, Diffraction) des Lichts versteht man die Ablenkung und Farbenzerstreuung, welche dasselbe erleidet, wenn es an dünnen Körpern vorüber, oder durch schmale Spalten hindurchgeht.

Grimaldi. Mayer's Inflexioskop. Fraunhofer's Beugungs-Erscheinungen.

Vergrößerung des Schattens dünner Körper, z. B. feiner Nähnadeln. Irisiren der Spinnfäden, Filzhaare u. s. w. Neben einander liegende Oeffnungen, Florbänder, Augenwimpern u. s. w. Gitterfarben. — Auch bei der Reflexion werden Strahlen gebeugt. Barton's Knöpfe; Perlmutterglanz, Flügel der Insecten, Schillern abgestandener Gläser, Farbenschimmer an Eisspalten.

Herschel's Beugungs-Phänomene. Schwerd.

Mit den Erscheinungen der Inflexion steht in innigem Zusammenhang die besonders von Young (1800) untersuchte Interferenz der Lichtstrahlen, d. i. die gegenseitige Einwirkung der Lichtstrahlen auf einander, wenn sie von einer Lichtquelle ausgehend sich unter sehr spitzen Winkeln schneiden. Bewirkt wird diese Durchkreuzung entweder durch Reflexion an zwei metallnen Winkelspiegeln, welche einen Winkel von beinahe 180° bilden (Fresnel's Spiegelversuch) oder durch Brechung in einem Interferenz-Prisma, d. h. in einem Prisma, dessen brechender Winkel nahe = 180° ist.

Die Interferenz zeigt sich darin, daß die Lichtstrahlen einander entweder verstärken oder schwächen, also helle oder dunkle Streifen bilden, je nachdem die Wege, welche die Lichtstrahlen bis zur Durchkreuzungsstelle zurückgelegt haben, um das 0, 2, 4 u. s. w. fache, oder um das 1, 3, 5, 7 u. s. w. fache einer gewissen Größe differiren, welche sowohl durch Versuch als durch Rechnung bestimmt werden kann.

Durch Interferenz des Lichts entstehen auch die Farben, welche sich in dünnen Schichten farbloser durchsichtiger Körper zeigen.

Seifenblasen, dünn ausgeblasene Glaskugeln, Insecten-Flügel, Collodium, ein feuchter Hauch auf dunklem Glase. Dünne Schichten von Luft in Eisspalten, Glasritzen u. s. w.

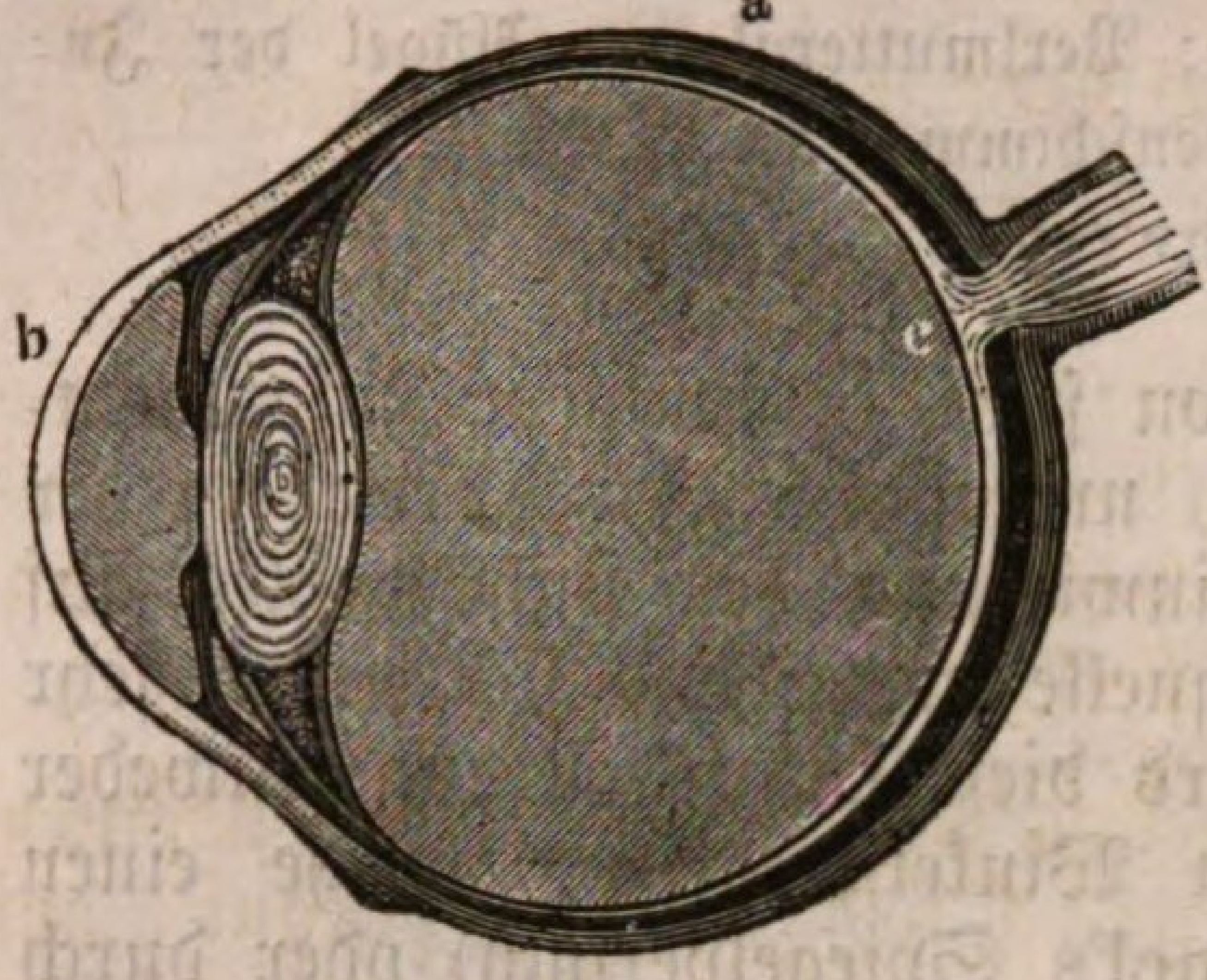
Fig. 114.



In großer Regelmäßigkeit erhält man sie, wenn man auf eine ebene Glasplatte ein convexes Glas von sehr geringer Krümmung (Fig. 114) legt; dann zeigt sich im reflectirten Licht am Berührungspunkt ein dunkler Fleck, umgeben von concentrischen farbigen Ringsystemen (Newton's Ringe), deren Farben immer in ganz bestimmter Ordnung auf einander folgen. Im durchgelassenen Licht sind die Farben zu den ersten complementär, und an die Stelle des dunklen Flecks tritt ein heller. In homogenem Licht (z. B. im Licht einer durch Kochsalz gefärbten Spiritusflamme) zeigen sich unendlich viele dunkle Kreislinien.

F. Wahrnehmung des Lichts.

Fig. 115.



§ 119. Der wichtigste Bestandtheil unsers Sehorgans ist der Augapfel, welcher in Fett und Zellgewebe eingeschlossen in der Augenhöhle liegt und durch 4 gerade und 2 schräge Muskeln bewegt wird.

Er ist kugelförmig, nach vorn aber mehr convex, und besteht aus Häuten und Flüssigkeiten. Die äußerste, dicke, harte, weiße Haut a (Fig. 115) heißt die weiße oder harte Haut (tunica alba oder sclerotica), ihr vorderer, durchsichtiger Theil b die Hornhaut (cornea). Unter der weißen Haut liegt die Aderhaut oder Gefäßhaut (chorioidea), deren vorderer, bei der Hornhaut sich ablösender Theil die Regenbogenhaut (iris) mit dem Lichtloch (der Pupille) ist. Unter der Aderhaut endlich liegt die Netzhaut (retina), eine Ausbreitung des Sehnervs, welcher vom Gehirn ausgeht und die beiden äußersten Häute bei c, dem für das Licht unempfindlichen Mariotte'schen Fleck (punctum coecum, dessen Lage man durch einen bekannten Versuch bestimmen kann), durchdringt. An der Iris liegt nach innen zu an die biconvexe Krystalllinse (lens crystallina), welche von dem Faltenkränzchen (corpus ciliare) festgehalten wird. Durch sie wird das Auge in die Vorderkammer mit der wässrigen Feuchtigkeit (humor aqueus) und in die Hinterkammer mit der gallertartigen, durchsichtigen Glasfeuchtigkeit (humor vitreus) getheilt. Die Krystalllinse ist mit der krystallnen Feuchtigkeit (humor crystallinus) angefüllt. Aderhaut und Iris sind nach innen zu mit dem schleimartigen pigmentum nigrum überzogen, welches die beiden Häute undurchsichtig macht, also das Eindringen störenden Lichtes hindert und auch jede verwirrende Reflexion im Innern beseitigt. Dieses pigmentum ist die Ursache der Farbe des Augensterns. (Kakerlaken.)

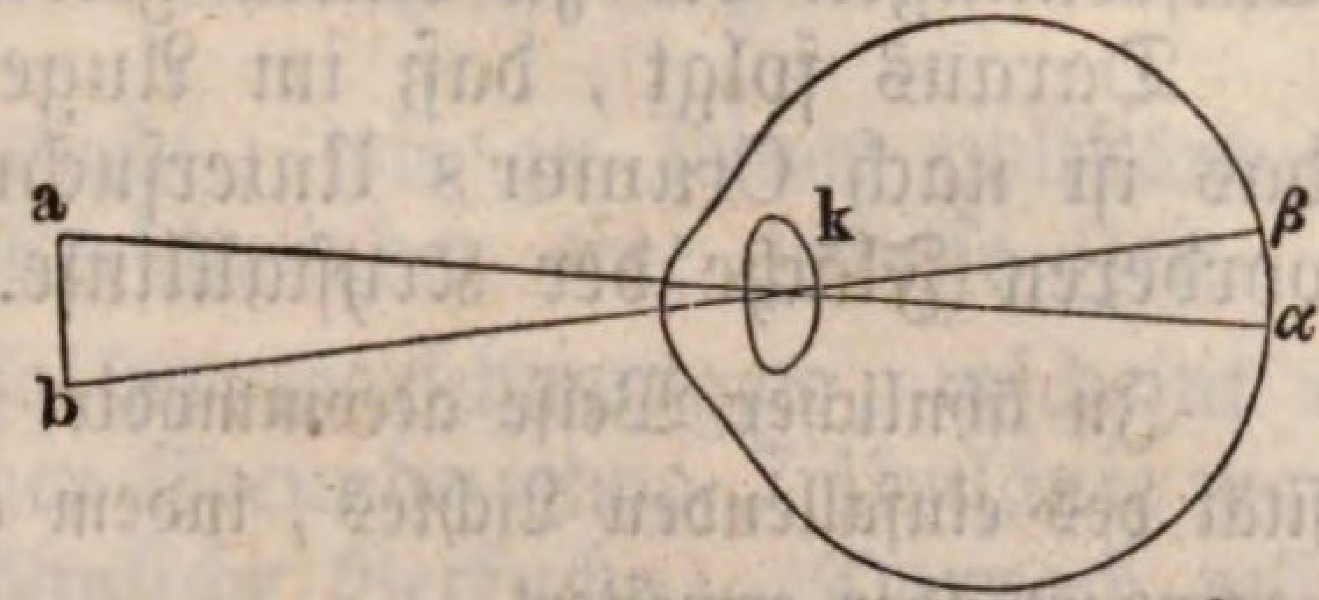
§ 120. Das Sehen wird offenbar bewirkt durch Brechung der Lichtstrahlen an der Hornhaut und in der Krystalllinse und ihre Vereinigung zu einem kleinen umgekehrten Bilde auf der Netzhaut.

Man kann dieses Bild an dem Auge eines frischgeschlachteten Ochsen, welches wie das aller Wirbelthiere dem menschlichen Auge sehr ähnlich ist, nachweisen. Leichter noch nimmt man es wahr in den Augen lebendiger weißer Kaninchen und weißer Mäuse.

Daß man die Gegenstände aufrecht sieht, hat seinen Grund darin, daß der Punkt der Netzhaut, welcher von der Spitze eines

Lichtkegels getroffen wird, selbst es ist, welcher dadurch zum Sehen erregt wird, also das Licht empfindet, sieht. Natürlich versetzen wir, wie bei jeder andern Affection der Nerven, den Gegenstand, der sie afficirt, in die Richtung, von welcher her die Erregung geschah. Es muß also, wenn $\alpha\beta$ (Fig. 116) das von ab herrührende Bild ist, der Sehnerv in β oder α den erregenden Punkt resp. in der Richtung βb oder αa sehen.

Fig. 116.



Daß man trotz der 2 Bilder (in jedem Auge eins), die von einem Object erzeugt werden, dieses nur einfach sieht, beruht darauf, daß beim gesunden Auge und normalen Sehen sich beide Augaxen auf den betrachteten Gegenstand richten (Gesichtswinkel), beide Bilder also, nach außen projicirt, zusammenfallen. (Schielen, freiwilliges Schielen.)

Das Sehen mit zwei Augen gewährt uns den doppelten Vortheil, daß wir 1) dadurch in den Stand gesetzt werden, die Entfernung der betrachteten Objecte besser zu beurtheilen (— mit einem Auge sieht man nur die Richtung —) und daß wir 2) nahe Körper auch als Körper, nicht als Flächen sehen.

(Die beiden Bilder in den Augen, welche sich dadurch von einander unterscheiden, daß das in dem linken Auge von dem Körper etwas mehr die linke Seite, das im rechten etwas mehr die rechte Seite zeigt, vereinigen sich in ihrer Wirkung zu der Gestaltung von etwas converem. cf. § 127.)

Zum deutlichen Sehen ist erforderlich, daß das Bild auf der Retina entstehe. Im normalen Auge findet dieß statt, wenn das Object etwa 8—10 Zoll vom Auge entfernt ist.

Diese Entfernung heißt die deutliche Sehweite. Augen, welche nur in geringerer Entfernung deutlich sehen, heißen kurzsichtig (Myops-Augen), die andern weitsichtig (Presbys-Augen). In den ersteren werden die Lichtstrahlen — vielleicht wegen zu großer Krümmung der Linse — zu sehr gebrochen, daß sie schon vor der Retina sich vereinigen, in den andern zu wenig, so daß sie sich erst hinter derselben vereinigen würden. (Zerstreuungskreise.) Den ersteren hilft man durch concave Brillen, den letzteren durch convexe (weshalb?).

Weitsichtigkeit zeigt sich mehr bei älteren Personen (weshalb wohl?); daher die Bezeichnung Presbyopie.

Alessandro Spina und Salviano d'Armati Erfinder der Brillen um's Jahr 1300. — Optometer zur Messung der Sehweite.

§ 121. Bekanntlich sieht ein gesundes Auge auch in sehr verschiedenen Entfernungen noch ziemlich deutlich; es vermag also sich den Entfernungen bis zu einem gewissen Grade zu accommodiren.

Daraus folgt, daß im Auge etwas veränderlich sein muß — und das ist nach Cramer's Untersuchungen die Krümmung und Lage der vorderen Fläche der Krystalllinse.

In ähnlicher Weise accommodirt sich das Auge auch der wechselnden Intensität des einfallenden Lichtes, indem es unwillkürlich die Pupille nach Bedürfniß verengert oder erweitert.

Die Größe des Netzhautbildes $\beta\alpha$, gemessen durch den Winkel $\beta k \alpha$ (Fig. 116) oder den ihm gleichen $\angle$ bka, welcher der Sehwinkel (d. i.?) genannt wird, bestimmt die scheinbare Größe des Objectes ab. Letztere hängt von der wirklichen Größe des Objects und seiner Entfernung (d) vom Auge ab, da $\tan \frac{1}{2} bka = \frac{\frac{1}{2} ab}{d}$ ist. Man kann also aus je 2 dieser 3 Bestimmungen die 3te durch Rechnung finden. Durch viele Uebung erlangt man die Fähigkeit, mittelst des Sehwinkels aus der Entfernung eines Gegenstandes (unter Berücksichtigung seiner Lage) auf seine Größe u. v. v. taxirend zu schließen. (Augenmaß.) Unterstützt werden wir dabei durch die, größere oder geringere, Deutlichkeit und Helligkeit des Bildes (Luftperspective) und durch Vergleichung mit nahe dabei befindlichen Objecten.

Auf der Veränderung des Sehwinkels mit der Entfernung beruht die anscheinende Convergenz langer Parallel-Linien (z. B.?), die anscheinende Langsamkeit der Bewegung entfernter rasch bewegter Körper, andrerseits die scheinbare Kreisdrehung der auf den Weg senkrechten Ackerfurchen bei eigner rascher Bewegung des Beobachters u. s. w. u. s. w.

Einige „optische Täuschungen" haben einen psychischen Grund, so z. B. die scheinbare Augenbewegung eines Portraits beim Vorübergehen an demselben, desgleichen die scheinbare Drehung einer auf einem Bilde gemalten Freitreppe eines Hauses oder eines Säulenganges, in welchen man hineinsieht — ebenfalls beim Vorübergehen am Bilde u. s. w.

Manche optische Täuschungen beruhen auf einer Vergrößerung des Netzhautbildes durch die Zerstreuungskreise, namentlich bei nicht vollkommner Accommodation.

Z. B. erscheinen dunkle Gegenstände auf hellem Grunde kleiner, helle auf dunklem Grunde größer, als sie sind. (Plateau's Irradiations-Versuche.)

Demgemäß scheint die schmale Mondsichel einem größeren Kreise anzugehören, als der im Erdlicht sichtbare, schwach leuchtende übrige Theil des Mondes.

Ein Körper hört auf sichtbar zu sein, wenn entweder sein Sehwinkel zu klein wird, oder die von ihm ausgehende Lichtwirkung eine nur momentane war.

Bei mäßiger Beleuchtung sind 30″ das Minimum des Sehwinkels, bei glänzenden Körpern 1—2″. — Bei rascher Bewegung wird ein in 28 Zoll Entfernung sich bewegender Körper unsichtbar, wenn die Winkelgeschwindigkeit 265° übersteigt.

§ 122. Jeder Lichteindruck braucht, wie zu seiner vollständigen Entwickelung, auch zum völligen Verschwinden eine gewisse Zeit.

Eine glühende Kohle, im Kreise herumgeschwungen, erscheint als glühende Kreislinie, wenn sie in der Secunde etwa 7 Umläufe macht. (Umkehrung dieses Versuches und ähnliche Versuche.) Darnach würde die Dauer des Lichteindrucks $\frac{1}{7}''$ betragen, nach Plateau's Versuchen dagegen durchschnittlich 0,34″.

Auf dieser „Dauer des Lichteindrucks" beruhen mehrere optische Täuschungen, nämlich die Einrichtung des Thaumatrop's (trompe d'oeil), des Phenakistoskop's, der stroboskopischen Scheiben, des Plateau'schen Anorthoskop's u. a. m.

Bei der Nachwirkung des Lichts wird der Sehnerv für neue Eindrücke unempfindlich, namentlich für einzelne Farben.

Ein reizbares Auge behält bald nach dem Erwachen, wenn man nach dem Fenster geblickt hat und die Augen schließt, das Bild des dunkeln Fensterkreuzes und der lichten Glasscheiben. Oeffnet man die Augen und sieht man auf eine mattleuchtende Fläche, so erscheint das umgekehrte Bild.

Das Nachbild der Sonne oder des Gaslichts verklingt bei geschlossenem Auge durch orange, roth, violett und blaugrün; öffnet man die Augen und blickt man auf matte helle Flächen, so sieht man die complementären Farben, welche -- da sie nicht von außen erregt werden — subjective oder physiologische Farben heißen.

Die Unempfindlichkeit des Auges gegen einzelne Farben zeigt sich natürlich nicht blos in den Nachbildern, sondern auch während der Wirkung. So entstehen die (immer complementären) Contrastfarben.

Z. B. ein Auge, welches sich ganz in grünem Licht befindet, sieht Gegenstände, welche von jenem Licht nicht getroffen werden, roth.

Farbige Schatten. Farbiges Fensterglas.

§ 123. Ein gesundes Auge sieht die Gegenstände in ihren natürlichen Farben und ohne farbige Säume. Dieß scheint in der Mitwirkung der im Auge eingeschlossenen Flüssigkeiten seinen Grund zu haben.

Gereizte Augen nehmen bei grellem Licht oder bei Congestionen des Blutes nach dem Kopfe leicht Farbenstreifen oder andere Lichterscheinungen wahr.

Eine eigenthümliche Krankhaftigkeit des Auges ist die Akyanoblepsie; sie besteht darin, daß das Auge kein blau sieht. Andere Augenkrankheiten sind der schwarze Staar (amaurosis), die eigentliche Blindheit, welche in einer Abstumpfung des Sehnervs be-

steht, der grauε Staar (cataracta alba), welcher in einer Verdunkelung der Krystalllinse, und der grüne Staar (Glaukoma), welcher entweder in einer Trübung der Flüssigkeiten des Auges oder in einer Unthätigkeit des sonst vorzugsweise wirkenden „gelben Flecks" der Retina ihren Grund hat. (Ihre Heilung.)

Zum grauen Staar kann man die mouches volantes (Skotome) rechnen. (Wie macht man dieselben recht sichtbar?)

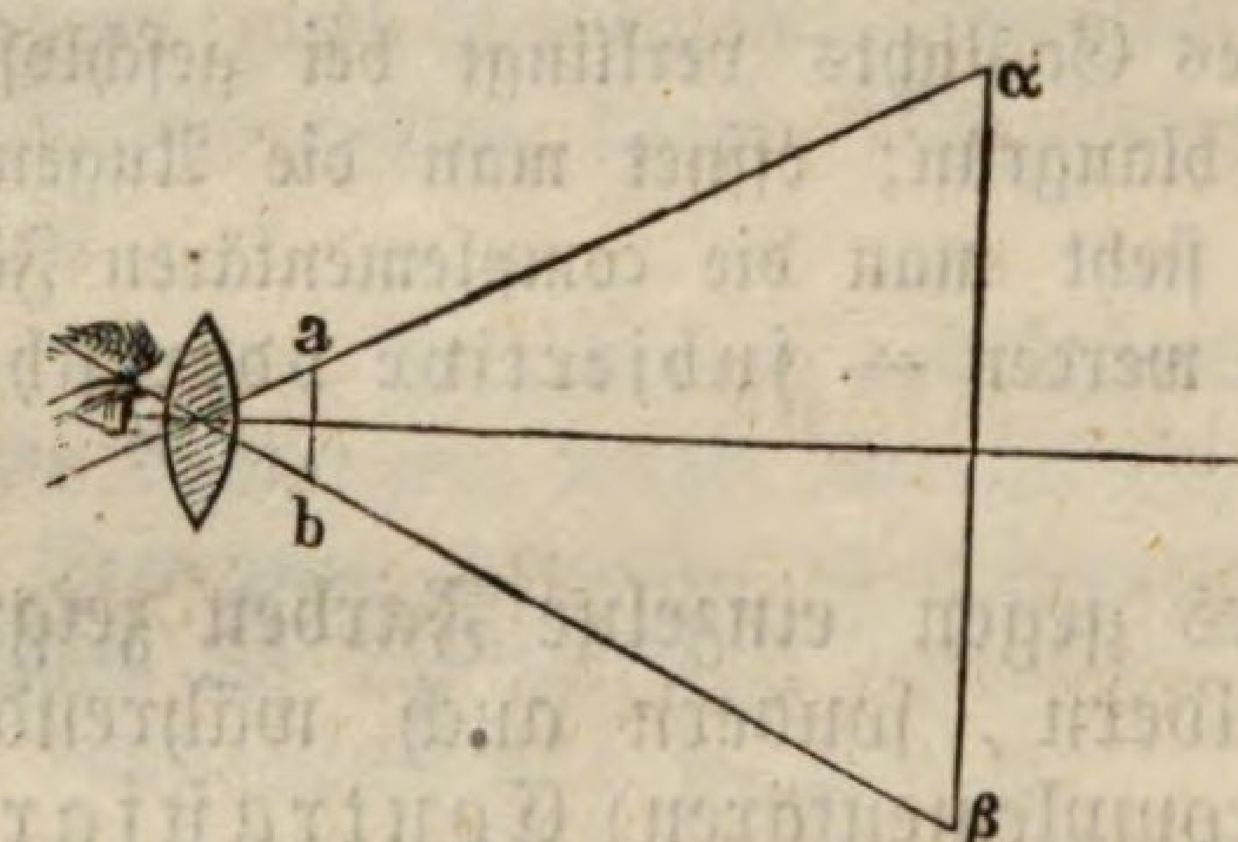
G. Die optischen Instrumente.

1) Mikroskope.

§ 124. Die Mikroskope sind Apparate um kleine nahe Objecte unter größerem Sehwinkel darzustellen. Man unterscheidet sie in katoptrische und dioptrische, je nachdem sie durch Spiegelung oder durch Brechung vergrößern. Die letzteren sind die wichtigeren; sie zerfallen in a) einfache Mikroskope, nämlich Sammellinsen von sehr geringer Brennweite (Loupen).

Sie vergrößern (linear) so oft mal, als die Brennweite f in der der deutlichen Sehweite d enthalten ist.

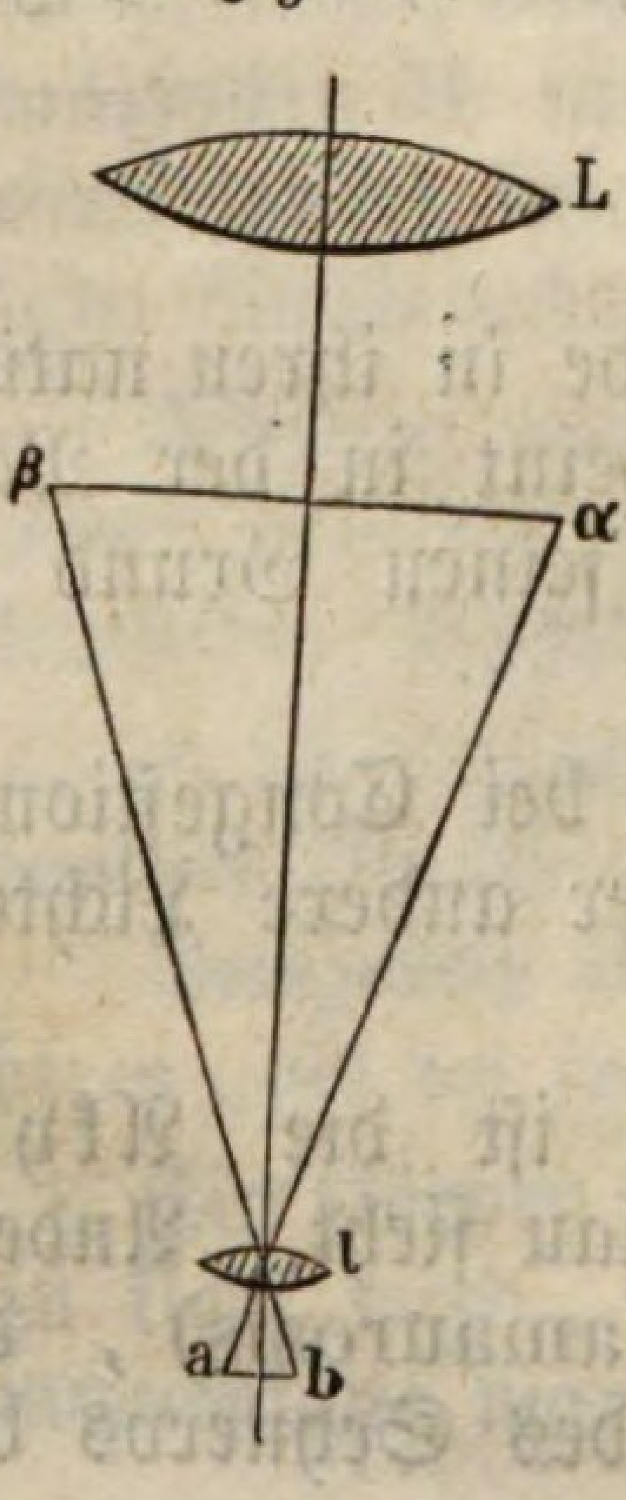
Fig. 117.



Befindet sich nämlich das Object ab (Fig. 117) innerhalb der Brennweite der Linse nahe am Brennpunkt, und sein Bild $\alpha\beta$ in der Sehweite — so daß es dem Auge deutlich erscheint — so ist $\frac{\alpha\beta}{ab} = \frac{d}{f}$.

Bei genauerer Rechnung ergiebt sich aus der Formel (§ 104, 1) $\frac{1}{d} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$, in welcher i negativ zu nehmen ist (als Entfernung eines geometrischen Bildes), als linearer Vergrößerungsexponent $\frac{d}{f} + 1$.

Fig. 118.



b) zusammengesetzte Mikroskope (von Zacharias Janssen um 1600 erfunden); sie bestehen aus einer sehr convexen Sammellinse l (Fig. 118, Objectivlinse) und einer weniger convexen Ocularlinse L, welche mit der ersten die Axe gemein hat und von ihr so weit entfernt ist, daß das von dem Object ab herrührende verkehrte und vergrößerte Bild $\alpha\beta$ dieselbe Lage gegen die Ocularlinse hat als das Object beim einfachen Mikroskop.

Die Vergrößerungszahl ist das Product der Vergrößerungszahlen, welche den beiden Linsen zugehören.

In der Regel bestimmt man sie mittelst gewisser Probe-Objecte (Schmetterlingsflügel, Diatomeen) oder eines Jacquin'schen Mikrometers.

Ein gutes Mikroskop muß außerdem ein reines, großes Gesichtsfeld haben und klare Bilder geben. Darnach richtet sich seine weitere Einrichtung.

Die katoptrischen Mikroskope haben statt der Objectiv-Linse einen kleinen Hohlspiegel. (Amici.)

Will man die vergrößerten Bilder objectiv darstellen, so bedient man sich des Sonnenmikroskops (Lieberkühn 1738), welches auch Megaskop heißt. Es besteht aus einer mikroskopischen Linse, welche von einem außerhalb ihrer Brennweite, aber in der Nähe des Brennpunkts befindlichen Object ein verkehrtes, großes physisches Bild erzeugt. Erleuchtet wird das Object durch Sonnenstrahlen, welche mittelst eines Planspiegels (Heliostats) auf die wenig convexe Erleuchtungslinse geleitet werden, in deren Brennpunkt sich das Object befindet.

Wählt man statt des Sonnenlichts Lampenlicht, welches wohl 4000 mal schwächer ist, oder Drummond'sches Kalklicht (§ 109), welches nach Humboldt 146 mal, nach Fizeau und Foucault 167 mal, oder electrisches, welches etwa nur $4\frac{1}{2}$ bis $2\frac{1}{2}$ mal schwächer ist, so erhält man das Lampen- (Adams) oder das Hydro-Oxygengas- oder das photoëlectrische Mikroskop.

2) Fernröhre (Teleskope).

§ 125. Apparate, welche entfernte und darum klein erscheinende Gegenstände näher, also unter größerem Sehwinkel zeigen.

Auch sie zerfallen in dioptrische und katoptrische. Dioptrisch sind:

a) das holländische (von Zacharias Janssen um 1590 erfundene) oder Galilei'sche Fernrohr (1609), welches aus einer convexen Objectivlinse von großer Brennweite und einer concaven Ocularlinse von kleiner Zerstreuungsweite besteht. Die Linsen sind so gestellt, daß sie die Axe gemein haben, und der Brennpunkt der Objectivlinse mit dem (außerhalb der Linsen liegenden) Zerstreuungspunkt der Ocularlinse zusammenfällt.

Das von der Objectivlinse erzeugte Bild kommt nicht zu Stande, sondern wird von der Ocularlinse so aufgefangen, daß die convergenten Strahlen etwas divergent werden, als kämen sie von einem in der Sehweite befindlichen Object. Daß ein solches Fernrohr (Operngucker) so oft mal linear vergrößert, als die Zerstreuungsweite in der Brennweite enthalten ist, ergiebt sich durch Vergleichung der Winkel, unter welchen das Object mit und ohne Fernrohr erscheint.

b) das Keppler'sche (astronomische) Fernrohr, dessen Objectivlinse flach convex, dessen Ocularlinse sehr convex und von der ersteren um die Summe ihrer Brennweiten entfernt ist. — Die Vergrößerung wird eben so bestimmt wie beim Galilei'schen Fernrohr. — Da die Gegenstände sich verkehrt darstellen, ist es für terrestrische Objecte nicht zu brauchen; für diese bedient man sich des

c) (de Rheita'schen) Erdfernrohrs mit einem nicht sehr convexen Objectiv-Glase L (Fig. 119) und 3 in eine bewegliche Röhre (Ocular-Röhre) gefaßten und in der Regel um die Summe ihrer Brennweiten von einander entfernten Ocularlinsen l. Fällt das von der Objectivlinse erzeugte verkehrte Bild $\beta\alpha$ in die Brennweite des 1sten Oculars $l_{,}$, so wird es durch $l_{,}$ und $l_{,,}$ umgekehrt und erscheint aufrecht ($\alpha_{,}\beta_{,}$) innerhalb der Brennweite des 3ten Oculars.

Fig. 119.

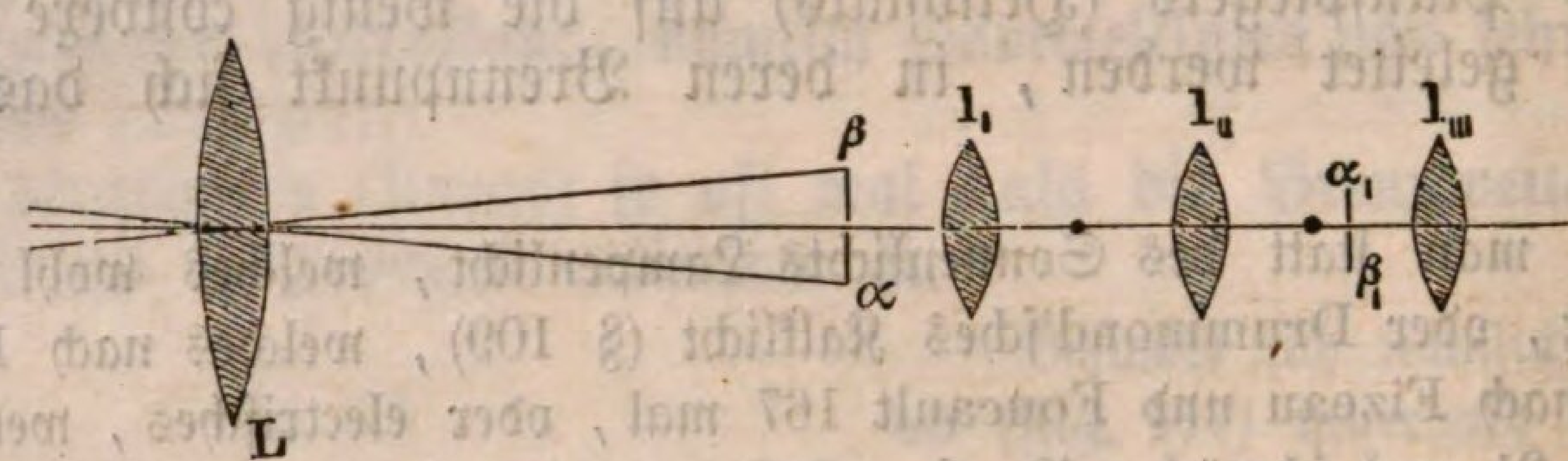
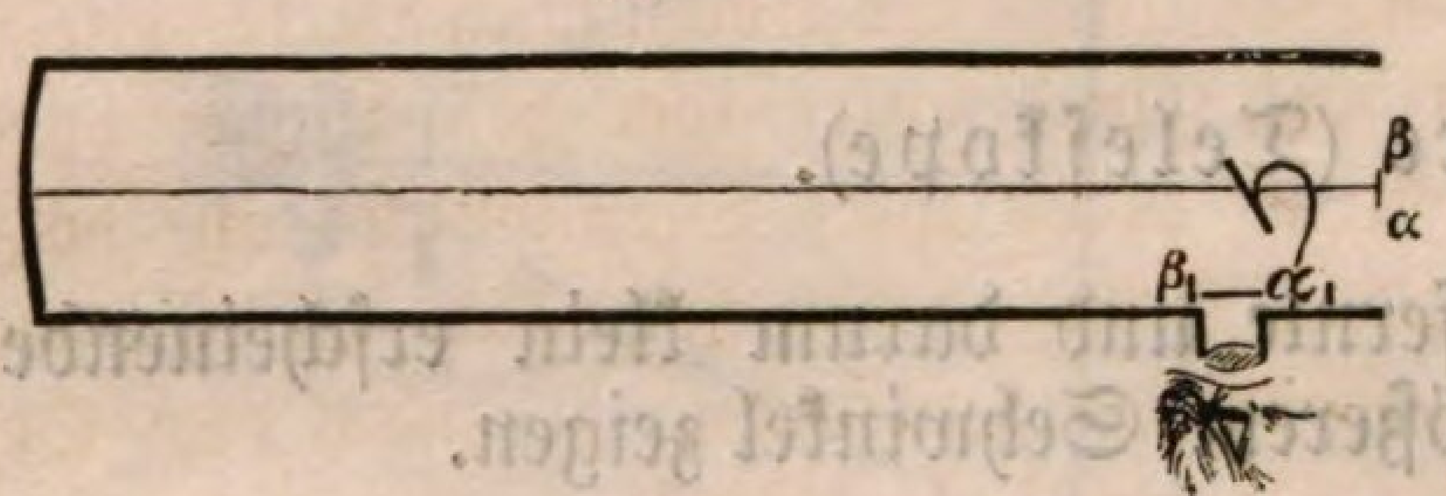


Fig. 120.



Katoptrisch ist das Newton'sche Spiegelteleskop. Dasselbe hat als Objectiv einen Hohlspiegel von großer Brennweite und in seiner Axe, innerhalb der Brennweite, nahe am Brennpunkt einen kleinen ebenen Fangspiegel, der gegen die Axe unter einem Winkel von 45° geneigt ist.

Das von einem sehr entfernten Object in der Nähe des Brennpunkts erzeugte verkehrte Bild $\beta\alpha$ (Fig. 120) kommt nicht zu Stande, sondern wird von dem Fangspiegel in eine senkrecht unter ihm in der Seitenwand befindliche Röhre reflectirt, und dieses Bild $\beta_{,}\alpha_{,}$ durch die Ocularlinse l wie durch eine Loupe angesehen.

Um die Uebelstände dieses Fernrohrs (nämlich welche?) zu beseitigen, hat W. Herschel den Fangspiegel weggelassen und den Objectivspiegel ein wenig geneigt (Herschel's Riesenteleskop), Gregory dagegen den Objectivspiegel in der Mitte durchbohrt und statt des ebenen Fangspiegels einen concaven dem Objectiv zugewandten angebracht, welcher von dem Objectiv um etwas mehr als die Summe der Brennweiten entfernt ist.

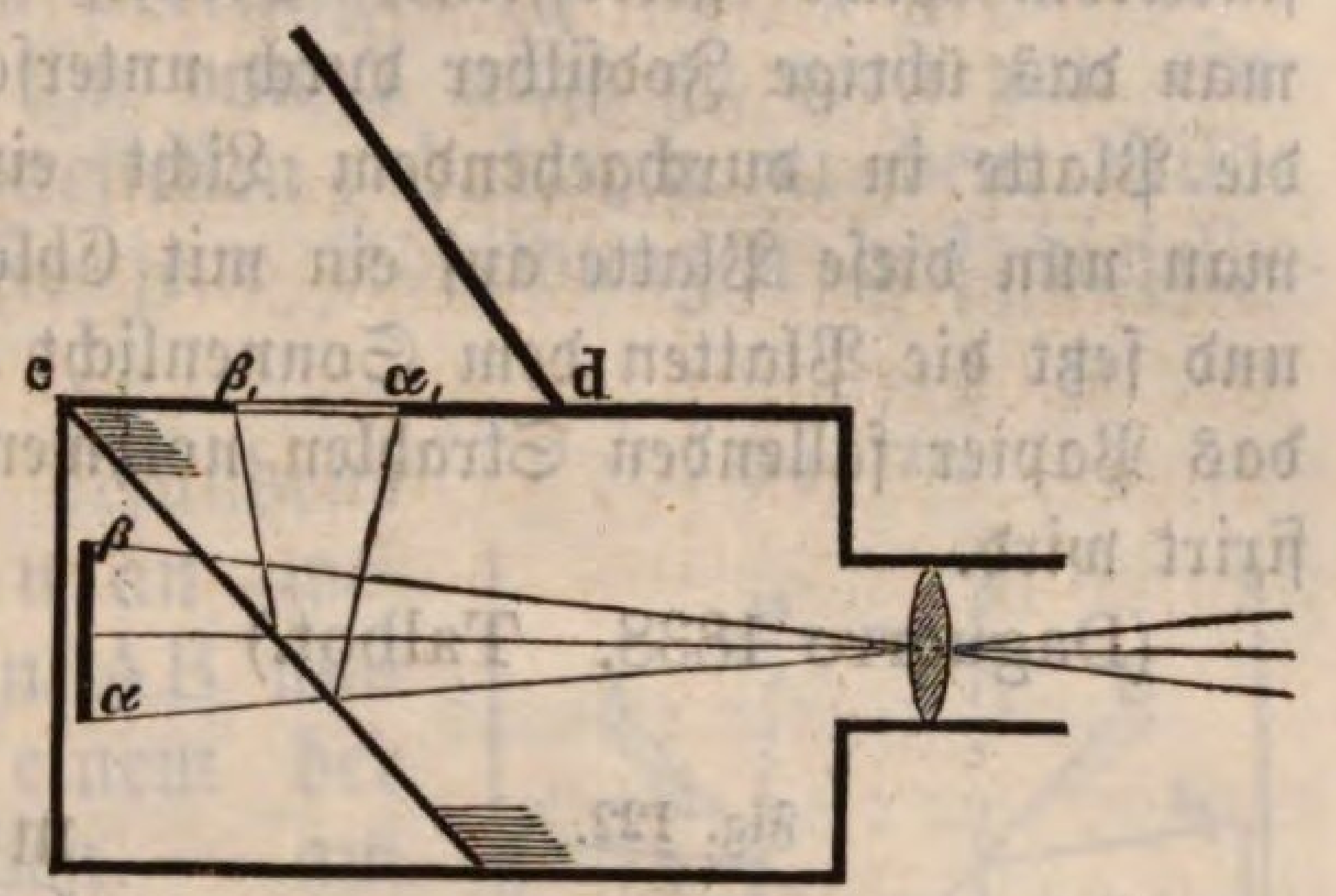
Das von dem Objectiv herrührende kleine verkehrte Bild wird von dem Fangspiegel wieder aufgerichtet und kommt vor ein Ocularglas zu liegen, welches sich in der Durchbohrung des Objectivs befindet.

Cassegrain hat den concaven Fangspiegel durch einen convexen ersetzt. Rosse's großer Reflector. Vortheile und Nachtheile der Reflectoren und Refractoren.

3) Apparate um Gegenstände bildweise darzustellen.

§ 126. a) Die camera obscura oder dunkle Kammer, von J. B. Porta 1558 erfunden, besteht aus einem Kasten, in dessen einer Seitenwand eine bewegliche Sammellinse angebracht ist, während von der gegenüber liegenden Wand, die von der Linse um deren Brennweite entfernt sein muß, ein der Linse zugewendeter Planspiegel unter einem Winkel von 45° ausgeht.

Fig. 121.



Dieser fängt das von der Linse erzeugte verkehrte Bild $\beta\alpha$ (Fig. 121) auf und wirft es auf die mattgeschliffne Glastafel cd (oder auf Strohpapier), welche gegen seitlich einfallendes Licht durch einen Deckel geschützt ist.

Bei einer andern Anordnung von Spiegel und Linse fallen die Lichtstrahlen zuerst auf einen unter einem Winkel von 45° gegen den Horizont abwärts geneigten Planspiegel und werden von diesem nach einer unter ihm befindlichen horizontalen Sammellinse geleitet, so daß in der Nähe ihres Brennpunkts auf horizontalem Papier ein Bild entsteht. Zum Schutz gegen seitwärts einfallendes Licht befindet sich das Papier in einem Kasten eingeschlossen, der nach dem Object zu geöffnet ist, und dessen Deckel die Sammellinse enthält.

Eine Modification des Apparats ist die camera clara (helle Kammer); diese hat an der Stelle der mattgeschliffenen Glastafel eine convexe Linse, durch welche man das Bild beobachtet. (Reinthaler.)

Will man die camera obscura zur Daguerrotypie und Photographie benutzen, so muß man den Fangspiegel beseitigen und die Hinterwand der Kammer durch eine jodirte Silberplatte ersetzen, außerdem diese Platte gegen alles nicht durch die Sammellinse gehende Licht abschließen.

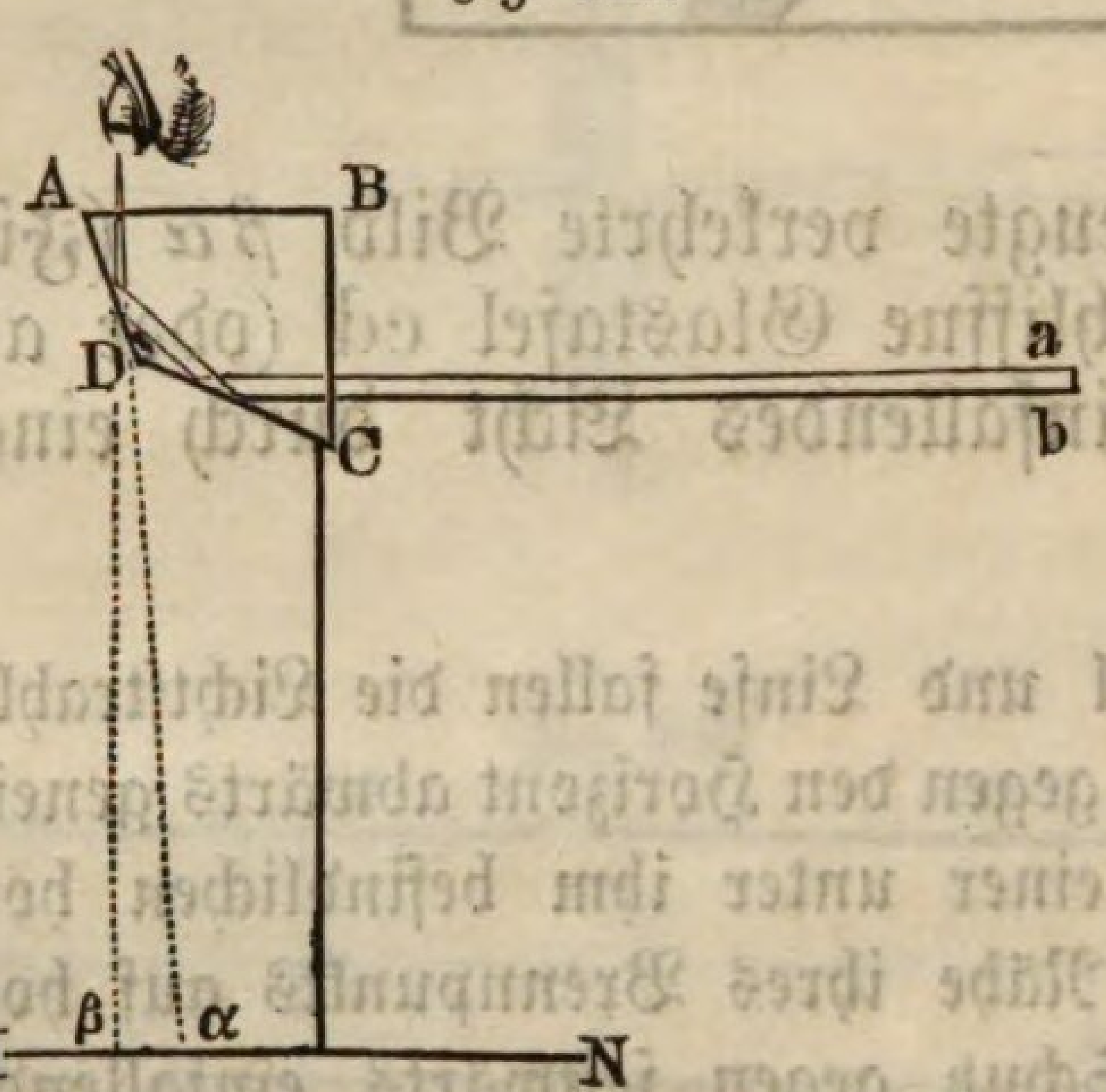
Zu Erzeugung eines Daguerrotyps läßt man das Licht auf die jodirte Silberplatte höchstens eine Minute wirken. Es bildet sich alsdann noch kein Bild: aber die Platte ist wesentlich verändert, indem sie nunmehr die Fähigkeit besitzt, Quecksilberdämpfe an den vom Licht getroffenen Stellen, und zwar um so stärker zu condensiren, je intensiver das wirkende Licht war. Die von hellem Licht getroffenen Stellen erscheinen also weiß, die andern dunkel; es entsteht ein „positives“ Bild. Um dasselbe zu fixiren, d. h. vor weiterer Einwirkung des Lichts

zu schützen, spült man die Platte mit einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron ab.

Eine Photographie erhält man, wenn man eine silberjodirte Glasplatte kurze Zeit dem Licht aussetzt und (immer unter Abschluß des Lichts) mit einer concentrirten Lösung von Pyrogallussäure (oder schwefelsaurem Eisenoxydul-Ammoniak) begießt; dann reducirt sich das Silber als feines Pulver an den von stärkerem Licht getroffenen Stellen und macht diese undurchsichtig. Spült man das übrige Jodsilber durch unterschwefligsaure Natron-Lösung ab, so giebt die Platte in durchgehendem Licht ein „negatives" Bild (d. h.?). Drückt man nun diese Platte auf ein mit Chlorsilber oder Jodsilber präparirtes Papier und setzt die Platten dem Sonnenlicht aus, so bilden die durch das Glas auf das Papier fallenden Strahlen nothwendig ein positives Bild, welches wie früher fixirt wird.

(Daguerre 1838. Talbot.)

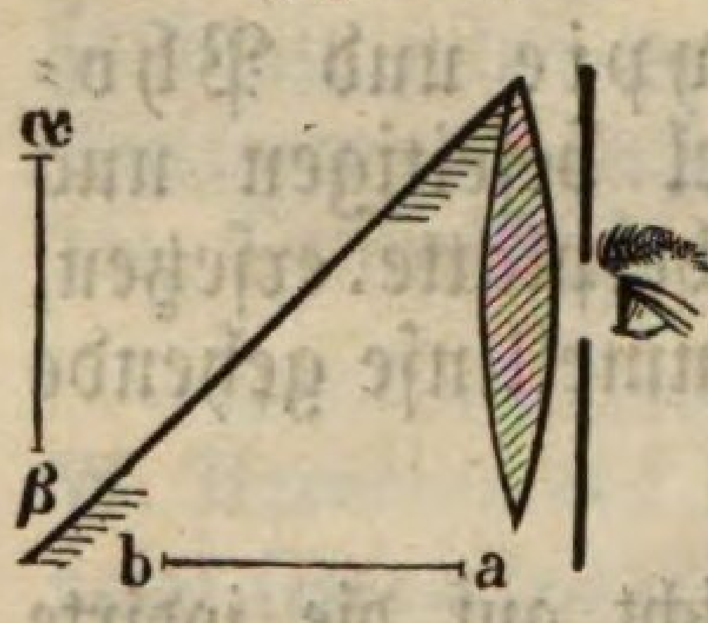
Fig. 122.



Die camera lucida (lichte Kammer), von Wollaston 1809 erfunden, besteht in einem kleinen Glasprisma, dessen Grundfläche von zwei an einander liegenden Bestimmungsdreiecken eines regulären Achtseits gebildet wird (ABCD in Fig. 122). Wendet man dieses Prisma in der in der Figur angegebenen Lage einem fernen Objecte ab zu, so werden die durch BC gehenden Strahlen, an CD und DA total reflectirt, in ein Auge bei A so gelangen, daß dieses auf MN ein aufrechtes Bild $\alpha\beta$ sieht.

4) Apparate um Bilder als wirkliche Gegenstände zu zeigen.

Fig. 123.



§ 127. a) Der optische Kasten (Guckkasten), bestehend aus einer verticalen, nicht sehr convexen Linse, hinter welcher ein Planspiegel unter 45° gegen den Horizont geneigt steht. Ein zwischen sie horizontal gelegtes Gemälde ab (Fig. 123) erzeugt von sich das verticale Bild $\alpha\beta$, welches innerhalb der Brennweite der Ocularlinse zu Stande kommt, also dem Auge vergrößert erscheint.

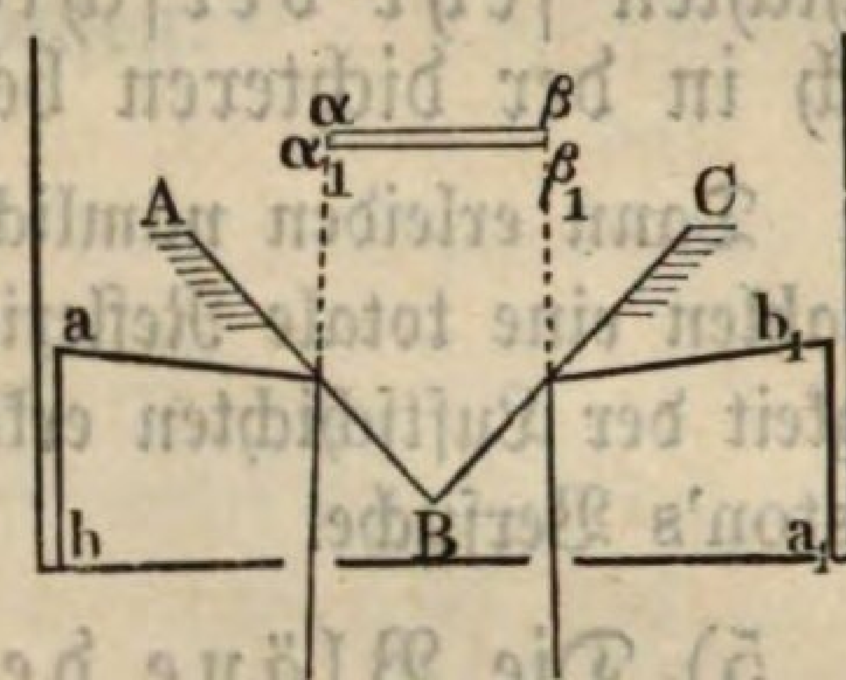
In Anwendung kommt der Apparat bei allen Dioramen, Panoramen und Kosmoramen.

b) Die Zauberlaterne (laterna magica) von Athan. Kircher 1646 erfunden, im Wesentlichen von dem Lampen-Mikroskop nicht verschieden und von bekannter Einrichtung.

Man benutzt sie zu Erzeugung der „Nebelbilder" (dissolving views); indem man nämlich die Bilder zweier Zauberlaternen auf dieselbe Stelle eines Schirmes wirft und immer die einen durch zwischen geschobene Glasplatten verdunkelt, die andern durch Wegnahme solcher Blendungen aufhellt.

c) Das Stereoskop, welches eben so, wie wir die Netzhautbilder unserer Augen, welche von einem nahen Körper herrühren, zu der Gestaltung von etwas plastischem vereinigen (§ 120), zwei Abbildungen eines Körpers, welche ihn von 2 nicht zu weit von einander entfernten Aufnahmepunkten darstellen, dadurch zu dem Bilde eines Körpers vereinigen, daß sie jene Abbildungen auf dieselbe Stelle projiciren.

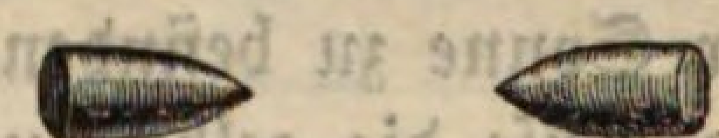
Fig. 124.



Das älteste, von Wheatstone erfundene Stereoskop beruht auf der Reflexion an zwei unter 90° geneigten ebenen Spiegeln AB und BC (Fig. 124), von denen jeder einem der beiden Augen die eine von zwei solchen — am besten photographischen — Abbildungen ab und a,b, so abspiegelt, daß ihre Bilder $\alpha\beta$ und $\alpha,\beta,$ einander in entsprechenden Stellen decken.

(In der Figur mußten diese Bilder neben einander liegend gezeichnet werden.)

Fig. 125.



Das Brewster'sche Stereoskop gründet sich auf die Verschiebung der Bilder in Prismen (§ 103) und ist in bekannter Weise construirt. Statt der Prismen werden aber, um der Vergrößerung und der Richtigkeit der Bilder willen, Linsensegmente gewählt, welche, wie Fig. 125 angiebt, geschnitten und gestellt sind.

H. Optische Erscheinungen in der Atmosphäre.

§ 128. 1) Die Tageshelle, eine Wirkung des in die Atmosphäre gelangenden, vielfach reflectirten, absorbirten und diffundirten Sonnenlichtes.

2) Die Morgen- und Abenddämmerung, d. i. die Helligkeit vor Sonnenaufgang und nach Sonnenuntergang, unterschieden in die astronomische und bürgerliche (nämlich?). Ihre Dauer richtet sich nach der Neigung des Tagbogens der Sonne gegen den Horizont. (Beispiele.)

Astronomischer und bürgerlicher Dämmerungskreis in einer Entfernung von resp. 18° und 6° unter dem Horizont ihm parallel.

3) Die atmosphärische Strahlenbrechung, eine Folge der Abnahme der Dichtigkeit der Atmosphäre bei Erhebung über den Hori-

zont. Sie bewirkt eine scheinbare Erhöhung der über dem Horizont befindlichen Gegenstände und ein Sichtbarwerden der etwas unter demselben befindlichen. (Grund?)

Sie nimmt ab mit der Erhebung der Objecte über den Horizont und ändert sich mit der Dichtigkeit der Atmosphäre. Sie verlängert bei uns den längsten Tag um etwa 8½ Min., in Polargegenden um 4 Wochen.

4) Die Fata morgana, morganische Fee, (Luftspiegelung, Seegesicht, Kimmung), d. i. das Erscheinen eines verkehrten Abbildes entfernter Gegenstände über ihnen (auf dem Meere) oder unter ihnen (im heißen Sande der Wüste Sahara und der lybischen Wüste).

Sie entsteht, wenn zwei über einander liegende horizontale Luftschichten sehr verschiedene Dichtigkeit haben, und Auge und Object sich in der dichteren befinden.

Dann erleiden nämlich die längs der trennenden Fläche einfallenden Lichtstrahlen eine totale Reflexion. — Wie läßt sich die große Ungleichheit der Dichtigkeit der Luftschichten erklären? — Luftspiegelung seitwärts. — Monge. — Wollaston's Versuche.

5) Die Bläue des Himmels, eine Folge der Zersetzung der Sonnenstrahlen in den Luftkügelchen, bei welcher die blauen Strahlen vorzugsweise reflectirt, die gelben und rothen dagegen transmittirt werden.

Die Luftkügelchen, welche — vom Auge aus — sich in der Richtung nach der Sonne zu befinden, lassen das Licht entweder unzerlegt hindurch, oder vorzugsweise die gelben und rothen Strahlen; daher der Himmel in der Nähe der Sonne immer weißlich erscheint. Die in entgegengesetzter Richtung liegenden reflectiren das blaue Licht. Wasserdunst-Bläschen werfen viel unzersetztes Licht zurück, wirken also entfärbend.

Messen kann man die blaue Farbe des Himmels durch Saussure's Kyanometer, einen Apparat mit 51 blauen Feldern von verschieden tiefer Farbe, die man — wie? — erhält.

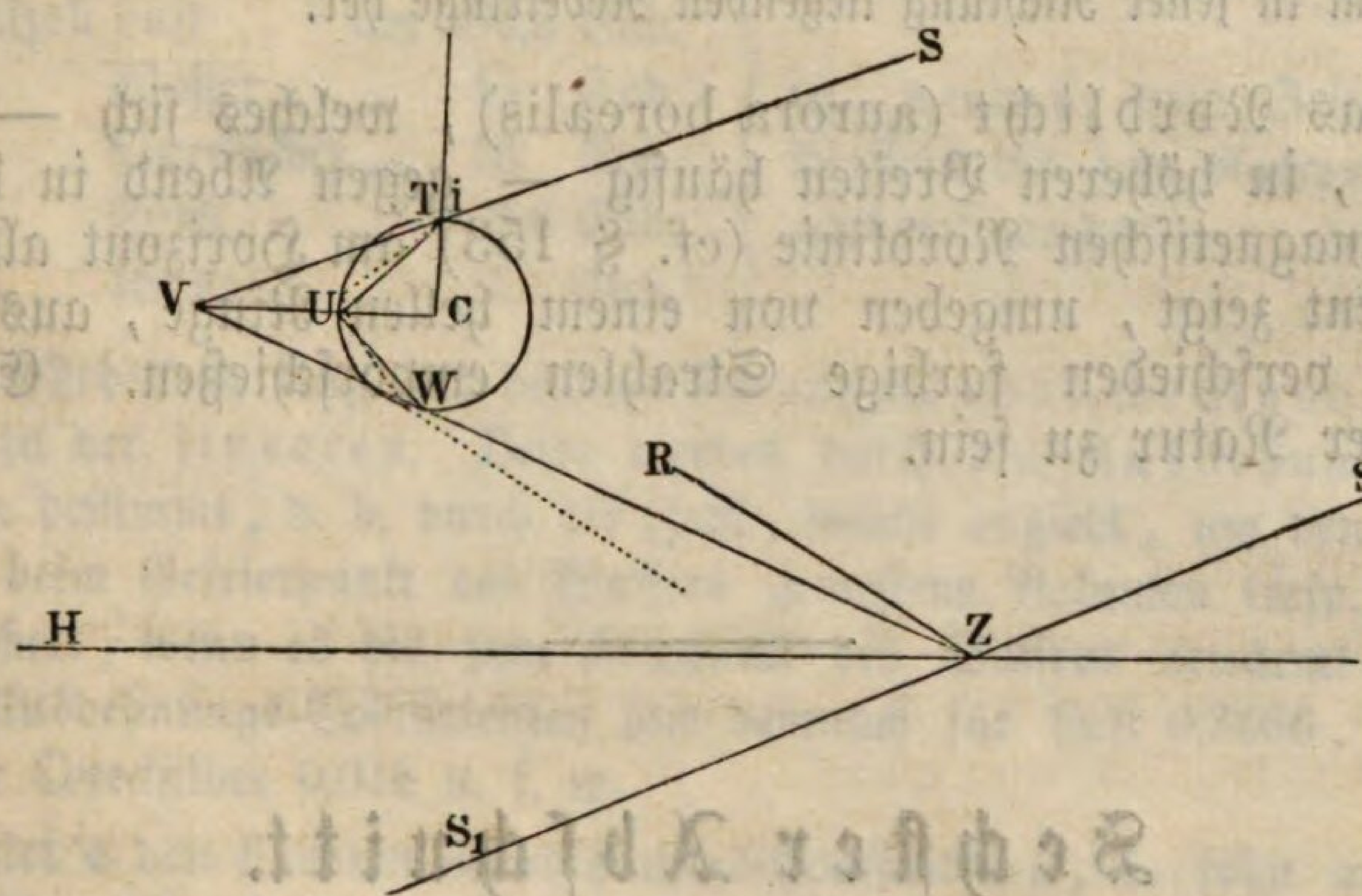
6) Die Morgen- und Abendröthe, eine bekaunte Farbenerscheinung, welche, in so weit sie nicht auf Nr. 5 beruht, durch Zerlegung des Lichtes in Dunstbläschen von bestimmter Expansion bewirkt wird. (Forbes' Beobachtung.)

7) Höfe um Sonne und Mond (Halonen), entweder kleinere Höfe, nämlich lichte, kreisrunde Scheiben von doppelt so großem Radius, als das erzeugende Gestirn hat, die, wenn sie gefärbt sind, nach außen roth erscheinen, oder größere Höfe, lichte Ringe von 45° Durchmesser, die ebenfalls dem Gestirn concentrisch und, wenn sie gefärbt sind, nach innen roth sind. Die ersten erklärt Fraunhofer durch Beugung der Lichtstrahlen an Dunstkügelchen, die andern durch Brechung in schwebenden Eiskrystallen.

8) Nebensonnen und Nebenmonde, Abbilder jener Gestirne, neben, über oder unter ihnen, welche oft sich in einem das Gestirn concentrisch umgebenden weißlichen Ringe befinden. Auch sie erklärt man durch Beugung an Dunstbläschen.

9) Der Regenbogen, bekanntlich ein in den prismatischen Farben glänzender Bogen, der nach oben roth, nach unten violett hat. Er bildet sich in einer von der Sonne beschienenen regnenden Wolke, wenn der Beobachter sich zwischen Sonne und Wolke, der letzteren zugewendet, befindet. Er ist um so größer, je näher die Sonne dem Horizont ist, und unmöglich, wenn die Sonnenhöhe mehr als 40 bis 42° beträgt: bei Aufgang oder Untergang der Sonne ist er ein Halbkreis. Erzeugt wird er durch eine zweimalige Brechung und einmalige Reflexion des Lichtes in den fallenden Wassertropfen.

Fig. 126.

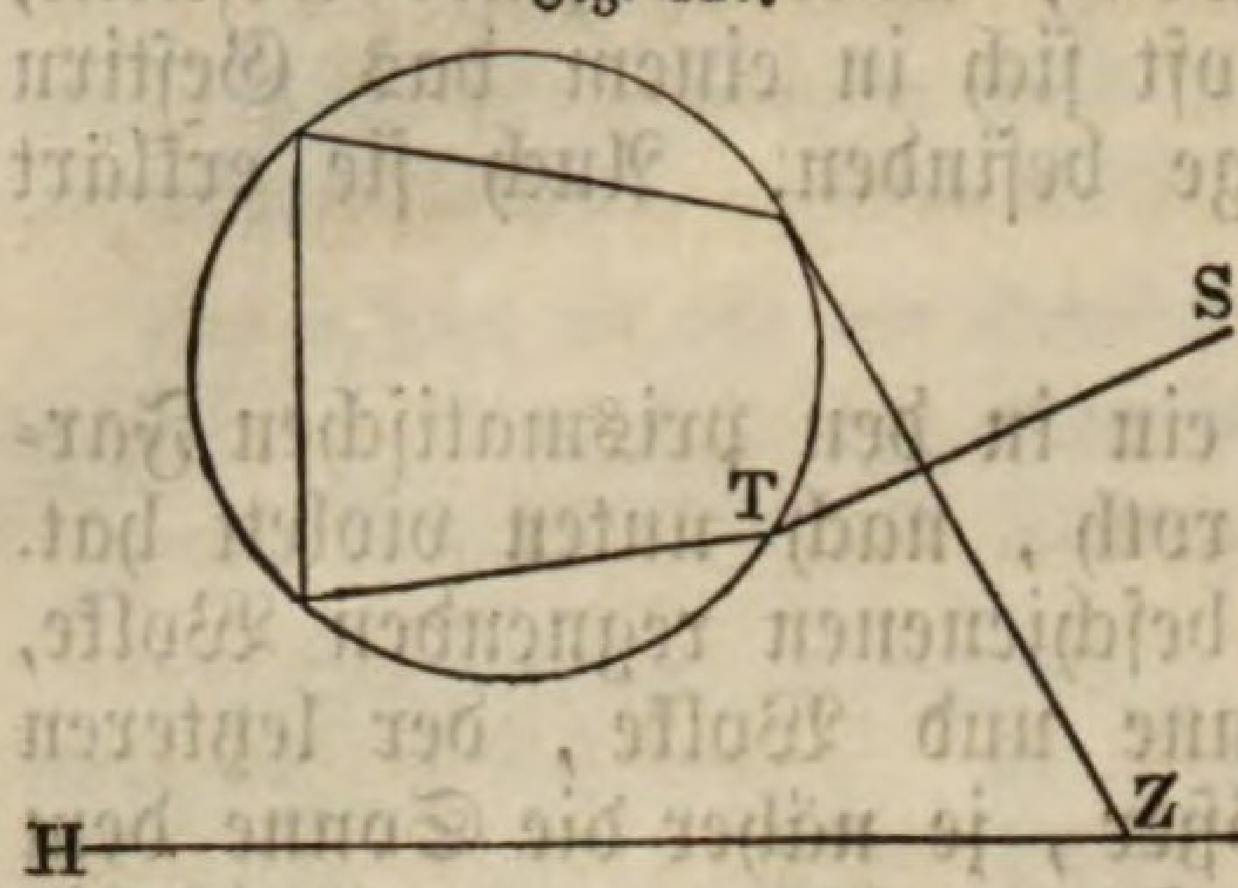


Wenn nämlich ST (Fig. 126) ein in den Tropfen C fallender Lichtstrahl und TUWZ das in ihm enthaltene violette Licht ist, so sieht ein Auge in Z den Wassertropfen in der Richtung ZV violett. Das weniger gebrochene rothe Licht dieses Tropfens würde, wie die punktirte Linie zeigt, unterhalb des Auges seinen Weg nehmen. Soll also rothes Licht ins Auge gelangen, so kann dasselbe nur von einem über C befindlichen Tropfen γ herrühren, den das Auge in der Richtung ZR roth sieht. Sollen die Lichteindrücke die nöthige Stärke haben, so müssen die dem Stahl ST unmittelbar benachbarten Strahlen der Linie WZ (resp. RZ) parallel austreten. Dieß ist, wie die (nicht hinreichend elementare) Rechnung zeigt, der Fall, wenn $\angle\, i = 59^\circ\ 24'$ und demnach $\angle\, V = 40^\circ\ 16'$ ist.

Denkt man sich die Figur SVZS, um ZS, herumbewegt, so beschreibt V einen Kreis und VZ einen Kegelmantel, dessen Spitze das Auge Z des Beobachters, und dessen Axe eine von Z nach der Sonne gezogene gerade Linie ist.

Zuweilen zeigt sich über dem Regenbogen in einer Entfernung von 10° ein ihm concentrischer, aber viel matterer „Neben-Regen-

Fig. 127.



bogen", welcher durch zweimalige Brechung und zweimalige Reflexion in höher gelegenen Wassertropfen erzeugt wird, wie Fig. 127 darstellt. Sein Farbenspectrum hat unten roth und oben violett.

10) Das Zodiakallicht, eine helle Pyramide, welche zur Zeit der Frühlingsnachtgleiche (besonders häufig in den Tropen) sich bald nach Sonnenuntergang im Westen zeigt, mit ihrer Basis auf dem Horizont steht und sich längs des Thierkreises hinzieht. Zuweilen erscheint es auch im Herbst vor Sonnenaufgang im Osten.

Nach Mairan soll es die Sonnen-Atmosphäre sein; wahrscheinlich aber rührt es von einem in jener Richtung liegenden Nebelringe her.

11) Das Nordlicht (aurora borealis), welches sich — bei uns sehr selten, in höheren Breiten häufig — gegen Abend in der Richtung der magnetischen Nordlinie (cf. § 153) am Horizont als dunkles Kreissegment zeigt, umgeben von einem hellen Ringe, aus welchem leuchtende verschieden farbige Strahlen emporschießen. Es scheint magnetischer Natur zu sein.

Sechster Abschnitt.

Von der Wärme.

§ 129. Unter Wärme versteht man die Eigenschaft der Körper, vermöge deren sie 1) auf das Volumen der Körper und unser Gemeingefühl, 2) auf den Aggregatzustand der Körper wirken. Darnach unterscheidet man freie und gebundene (latente) Wärme.

Man erklärt die Wärme-Erscheinungen durch Annahme eines unendlich feinen (unwägbaren) elastischen Aethers und dessen Bewegung. — Abstufungen der Wärme: Temperaturen; Hitze, Kälte.

Die Wärme entsteht 1) durch Reiben, Stoßen, Schlagen u. s. w. und durch rasche Compression (das pneumatische Feuerzeug oder Tachopyrion), 2) durch Adhäsion pulverartiger Körper und tropfbarer Flüssigkeiten, 3) durch den chemischen Proceß, 4) durch Licht, Electricität

und Magnetismus, 5) durch den Lebensproceß der Pflanzen und insbesondere der Thiere.

Beispiele: Die verschiedenen Arten Feuerzeuge; Hemmschuhe, Kalk und Wasser u. s. w.

1) Die freie Wärme.

§ 130. Die freie Wärme vergrößert das Volumen der Körper; sie dehnt dieselben aus, am meisten die luftförmigen — und zwar gleichmäßig und (mit Ausnahme einiger coërcibeln Gase) gleich sehr, weniger die flüssigen — und zwar diese ungleichmäßig und ungleich sehr, am wenigsten die festen Körper — und zwar (mit Ausnahme der sehr hohen Temperaturen) gleichmäßig, aber ungleich sehr. So z. B. nehmen

1000 Cubikzoll Luft	um 366,6 Cub.″		
„ „ Wasser	„ 43 Cub.″	zu, wenn sie vom Gefrierpunkt des	
„ „ Quecksilber	„ 18 Cub.″	Wassers bis zum Kochpunkt desselben	
„ „ Eisen	„ 3,6 Cub.″	erwärmt werden.	
„ „ Kupfer	„ 5 Cub.″		

Die vorstehenden Angaben beziehen sich auf die cubische Ausdehnung im Gegensatz zu der linearen. Beide werden durch den Ausdehnungs-Coëfficienten bestimmt, d. h. durch die Zahl, welche angiebt, um den wie vielten Theil das beim Gefrierpunkt des Wassers gemessene Volumen (resp. die Länge) sich vergrößert, wenn es bis zum Kochpunkt des Wassers erwärmt wird. Die cubischen Ausdehnungs-Coëfficienten sind demnach für Luft 0,3666, für Wasser 0,043, für Quecksilber 0,018 u. s. w.

Bedeutet c den linearen Ausdehnungs-Coëfficienten, so folgt aus der Formel $(1+c)^3 = 1+3c+3c^2+c^3$, daß der Coëfficient für die cubische Ausdehnung fester Körper ungefähr 3mal so groß als der für die lineare ist, da man bei den meisten derselben c^3 und $3c^2$ als verschwindend klein außer Acht lassen kann.

Versuche, welche die Vergrößerung des Volumens bei zunehmender Temperatur nachweisen, giebt es mehrere.

Eine Ausnahme bildet Thon, feuchtes Holz und andere feuchte Körper, welche durch Verdunsten der Flüssigkeit bei steigender Wärme sich zusammenziehen, und andrerseits das Wasser, welches erkaltend sich nur bis zu 3° Réaumur (s. den folg. §) zusammenzieht, dann wieder ausdehnt, weil schon bei 3° R. die erste Wirkung des später sich realisirenden Krystallisations-Processes beginnt, bei welchem ein Dichtigkeits-Maximum nicht bestehen kann.

Aehnliches gilt von erstarrendem Wismuth. Die Kraft, mit welcher gefrierendes Wasser sich ausdehnt, ist eben so wie die ausdehnende Kraft der Wärme sehr bedeutend. Beispiele.

§ 131. Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme ist ein Mittel für die Messung der Temperatur. Die Apparate, welche dazu dienen, heißen **Thermometer** und werden nach der thermoskopischen Substanz unterschieden in

1) **Luft-Thermometer**, bestehend aus einer längeren, überall gleich weiten Glas-Röhre, welche an dem einen Ende offen, am andern zweimal rechtwinklig umgebogen und in eine Kugel ausgeblasen ist, die mit Quecksilber gefüllt wird, so daß die in der Kugel befindliche Luft abgesperrt und verdichtet ist.

Der Apparat ist aus mehreren Gründen (welchen?) mangelhaft, läßt sich aber so ändern, daß er von jenen Mängeln befreit wird.

Das älteste, von Cornelius Drebbel 1638 erfundene, Thermometer war ein Luft-Thermometer, aber anders construirt.

Die in neuester Zeit von Dulong und Petit und von Regnault erfundenen sind viel complicirter und ohne ausführliche Beschreibung kaum verständlich, so daß ich glaube sie übergehen zu dürfen.

2) **Weingeist-** und **Quecksilber-Thermometer**, in ihrer Construction übereinstimmend; sie bestehen aus einer **genau calibrirten** engen Glas-Röhre, welche an dem einen Ende in eine Kugel ausgeblasen ist, dann mit Weingeist oder Quecksilber gefüllt und am andern Ende so zugeschmolzen wird, daß über der Flüssigkeit ein luftleerer Raum entsteht.

Fahrenheit (um's Jahr 1709) nahm zuerst Quecksilber, welches aus mehreren Gründen (nämlich?) sich, hohe Kältegrade abgerechnet, mehr als Weingeist zur thermoskopischen Substanz eignet.

Die Anlegung der Scala wurde von Réaumur wissenschaftlich begründet, indem er zeigte, daß die Temperatur, bei welcher Eis schmilzt (der so genannte **Gefrierpunkt**, **Frostpunkt**, **Eispunkt** — eigentlich der Aufthauungspunkt des Eises) eine **unveränderliche**, und die Temperatur, bei welcher **Wasser** im Freien (d. h. daß die Dämpfe frei entweichen können) **kocht**, **von der Temperatur der Umgebung unabhängig** ist. Den Punkt, welchen das Niveau des Weingeistes beim Aufthauen des Eises markirt, bezeichnete er mit 0 (Null), den Punkt, bis zu welchem es in kochendem Wasser sich bewegt, mit 80; indem er die Entfernung dieser beiden Punkte, den **Fundamental-Abstand**, in 80 gleiche Theile (Grade °) theilte. Achtzigtheilige (Octagesimal-) Scala. Die Grade abwärts von Null bezeichnete er als negative Grade.

Der Schwede Celsius theilte den Fundamental-Abstand in 100 gleiche Theile. (Centesimal-Scala.) Diese ist in speciell wissenschaftlichen Werken (und in Frankreich) die gebräuchliche. Unsre gewöhnlichen Thermometer sind Deluc'sche, Quecksilber-Thermometer mit Réaumur'scher Scala.

Wie bestimmt man den Gefrierpunkt und den Kochpunkt des Wassers? Welche Regeln hat man dabei zu beobachten?

Fahrenheit nahm als Nullpunkt seiner Scala eine ganz willkürliche Temperatur, nämlich die größte Kälte des Winters 1709 zu Danzig, zugleich eine Temperatur, welche er durch rasche Mischung von Schnee und Salmiak (oder Kochsalz) stets zu erhalten meinte. Er rechnete von da bis zum Gefrierpunkte des Wassers 32 Grade und fand, daß er bis zum Kochpunkt weitere 180° nehmen, also ihn mit 212° bezeichnen müsse.

Für die Reduction der verschiedenen Scalen ist festzuhalten, daß 80 Réaumur'sche Grade an Länge = 100 Celsius'schen = 180 Fahrenheit'schen sind. Demnach braucht man, um Réaumur'sche Grade in Celsius'sche und v. v. zu verwandeln, nur mit $\frac{5}{4}$ oder mit $\frac{4}{5}$ zu multipliciren.

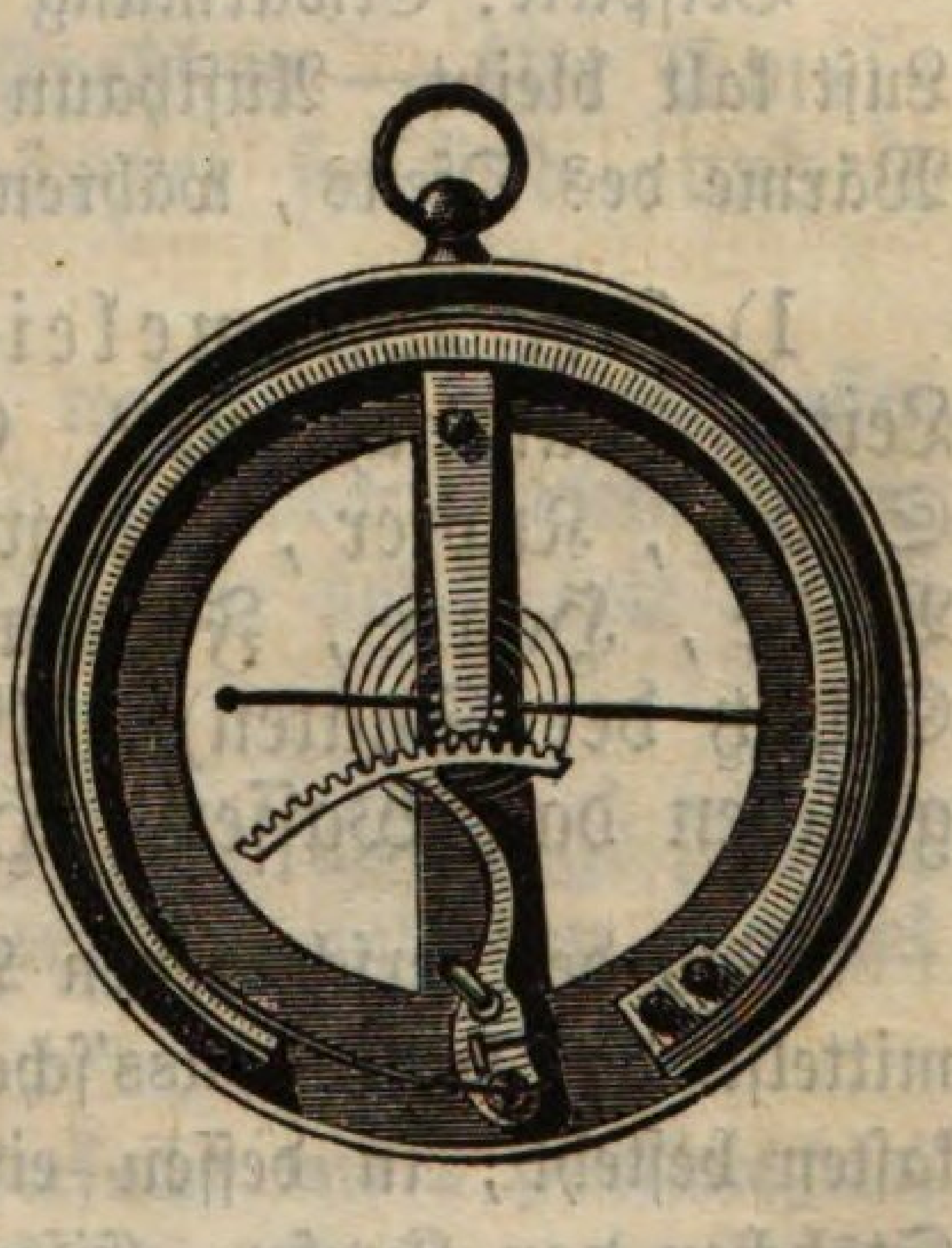
Will man Grade Réaumur (oder Celsius) in Grade Fahrenheit verwandeln, so muß man vorerst mit $\frac{9}{4}$ (oder $\frac{9}{5}$) multipliciren, und dann den Nullpunkt ändern, indem man 32° addirt. Hat man Grad Fahrenheit in andre zu verwandeln, so ändere man erst den Nullpunkt, indem man 32° subtrahirt, und multiplicire dann mit resp. $\frac{4}{9}$ oder $\frac{5}{9}$.

3) **Metall-Thermometer**, bei welchen feste Metalle als thermoskopische Substanz dienen, a) Thermometer mit **einem** Metall (Platin), dessen Ausdehnung die Wärme (Hitze) mißt. Ihre Einrichtung ergiebt sich hieraus leicht.

b) Thermometer mit 2 oder 3 Metallen, welche ungleich von der Wärme ausgedehnt werden (Stahl und Messing; Platin, Gold und Silber). Sie beruhen darauf, daß ein gerader Streifen aus z. B. Stahl und Messing sich bei zunehmender Wärme so biegen muß, daß der Stahl die concave Seite bildet (weshalb?) und v. v. War der Streifen schon gekrümmt und Stahl auf der concaven Seite, so muß der Streifen sich noch mehr krümmen 2c.

Breguet'sche Thermometer, Breguet'sche Uhrschlüssel; Holzmann'sche Thermometer, deren Einrichtung die Fig. 128 leicht erkennen läßt.

Fig. 128.



§ 132. Um kleine Temperaturdifferenzen zu markiren, bedient man sich der **Differential-Thermometer**.

Das Leslie'sche ist ein Luft-Thermometer und besteht aus einer horizontalen engen Glasröhre, welche an beiden Enden in zwei aufwärts gehende, längere Arme rechtwinklig umgebogen und in Kugeln ausgeblasen ist. Eine kleine Säule gefärbter Schwefelsäure, welche man in die horizontale Röhre bringt, giebt durch ihre Bewegungen die Veränderungen der Wärme der Kugeln an.

Das Rumford'sche Thermoskop unterscheidet sich von ihm nur dadurch, daß es eine längere Verbindungsröhre hat.

Empfindlicher noch als das Leslie'sche ist das Schmidt'sche (Howard'sche) Differential-Thermometer, dessen Kugeln an abwärts gehenden Armen befindlich und zum größeren Theil mit Alkohol (oder Schwefeläther) gefüllt sind, während der übrige Glaskörper luftleer ist und Alkoholdünste (Aetherdünste) enthält. In der Verbindungsröhre befindet sich eine Schicht Alkohol (Aether).

Ein Apparat, welcher die höchste oder niedrigste Temperatur mißt, welche während einer Zeit, wo nicht beobachtet werden konnte, bestanden hat, heißt resp. ein Maximum- oder Minimum-Thermometer. Das 1ste ist ein horizontal liegendes Quecksilber-Thermometer, welches in seiner Röhre vor dem Quecksilber ein Eisenstäbchen hat, das 2te ein (ebenfalls) horizontal liegendes Weingeist-Thermometer, welches innerhalb des Alkohols ein Glasröhrchen enthält.

Wie ist die Wirksamkeit dieser Thermometer zu erklären?

Eine Vereinigung beider Arten Thermometer heißt ein Thermometrograph (Rutherford).

Apparate, um große Hitzegrade zu messen, nennt man Pyrometer. Ein solches ist, außer dem im vor. § Nr. 3, a beschriebenen, das früher viel gebrauchte Wedgwood'sche Thon-Pyrometer; dasselbe beruht auf der Eigenschaft des Thons von Cornwallis, sich in bedeutender Hitze ziemlich regelmäßig zusammen zu ziehen. Es ist aber aus mehreren Gründen (nämlich?) nicht sehr zuverlässig.

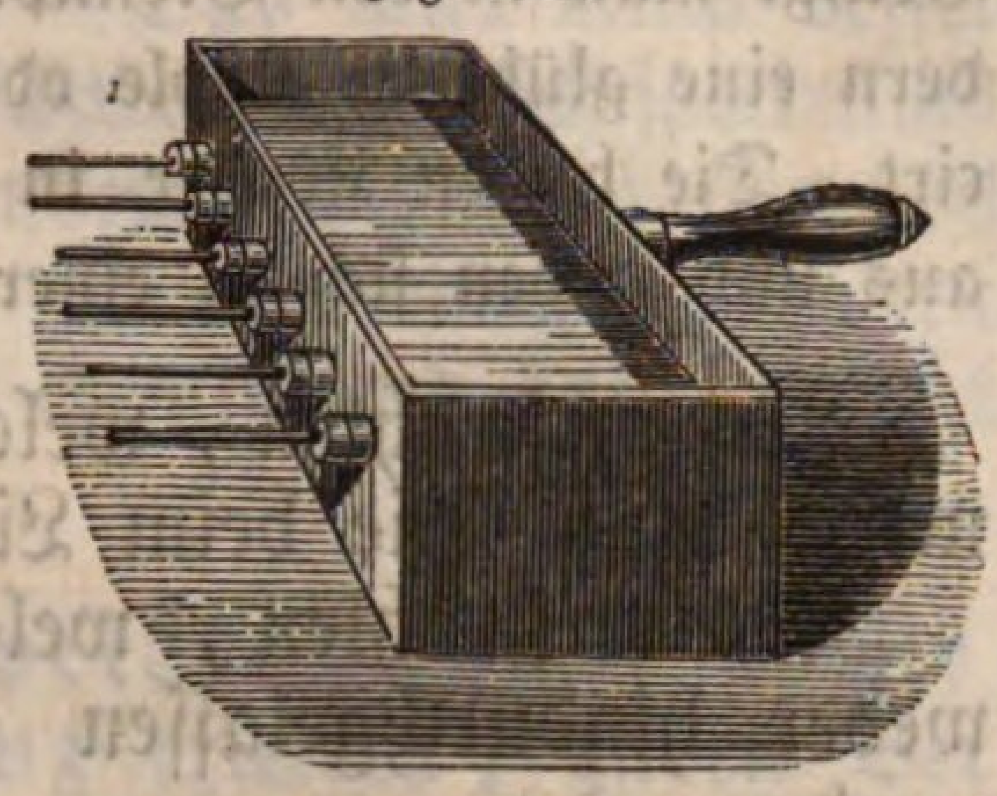
§ 133. Die Fortpflanzung der Wärme geschieht entweder durch Leitung oder durch Strahlung. Die erstere erfolgt in allen Körpern, wenn auch ungleich schnell, nach allen ihren Dimensionen bei unmittelbarer Berührung, und zwar allmählich von Punkt zu Punkt, die letztere vorzugsweise in der Luft, in geraden Linien, mit mit ungeheurer Geschwindigkeit und so, daß entferntere Körper erwärmt werden und die dazwischen befindliche Luft (Steinsalz) nicht.

Beispiele: Erwärmung der Erdoberfläche durch Sonnenstrahlen, während die Luft kalt bleibt. Aufthaun des Eises an den Fensterscheiben durch die strahlende Wärme des Ofens, während die Luft des Zimmers noch kalt bleibt u. s. w.

1) Die Wärmeleitung. Man unterscheidet gute und schlechte Leiter, nämlich wie? Gute Leiter sind die Metalle, besonders Gold, Silber, Kupfer, am wenigsten Eisen und Blei, schlechte Leiter Wolle, Haare, Federn, Stroh, Holz, trockene Luft, Schnee (ein Schutz der Saaten), Asche, Kohle, überhaupt poröse Körper, desgleichen das Wasser. Halbleiter sind Glas, Steine, Ziegeln.

Von der verschiedenen Leitungsfähigkeit fester Körper überzeugt man sich leicht mittelst des Ingenhouss'schen Apparates (Fig. 129), welcher aus einem Blechkasten besteht, in dessen eine Seitenwand gleich dicke, mit Wachs überzogene Stäbchen von Kupfer, Eisen, Holz 2c. neben einander so gesteckt sind, daß ihre

Fig. 129.



Enden sich im Kasten befinden.* Dieser wird dann mit heißem Wasser gefüllt, welches die Stäbchen erwärmt.

Daß das Wasser schlecht leitet, zeigt man, indem man über Wasser heißes Oel gießt und ein Thermometer so weit eintaucht, daß die Kugel sich im Wasser befindet.

Oder: man bringt in ein mit Wasser von 0° gefülltes Probirgläschen ein Stück Eis (mit Draht umwickelt, damit es untersinkt); dann kann man das Wasser an der Oberfläche zum Kochen bringen, ohne daß das Eis merklich schmilzt.

Schutz der Bäume, Pumpen gegen Kälte mittelst Stroh. Doppelfenster, Doppelthüren, doppelte Hemden. Davy's Sicherheitslampe. — Ueberall, wo Wärme schnell verbreitet werden soll, muß man sich guter Leiter bedienen; soll sie lange zurückgehalten werden, schlechter.

Soll eine (tropfbare oder expansive) Flüssigkeit schnell erwärmt werden, so muß es von unten her geschehen; dann werden nämlich die zunächst erwärmten untersten Schichten leichter und erheben sich an die Oberfläche, während die oberen ihre Stelle einnehmen und mit der Wärmequelle in unmittelbare Berührung kommen.

Im Wasser kann man die hervorgerufene Bewegung, in der Mitte aufwärts, an den Wänden des Gefäßes abwärts, durch Sägespäne oder Bernsteinstückchen sichtbar machen.

§ 134. 2) Die Wärmestrahlung; sie geschieht eben so wie die Lichtstrahlung in geraden Linien. Demnach muß auch die Wärme-Intensität im quadratischen Verhältniß der wachsenden Entfernung abnehmen.

Wie erkennt man das Erste?

Das Zweite hat Lambert und nach ihm Melloni durch Versuche außer Zweifel gestellt.

Die Fähigkeit der Körper Wärme auszustrahlen — ihr Emissionsvermögen — ist um so größer, je wärmer sie sind, und je weniger dicht oder glatt ihre Oberfläche ist.

Leslie's Versuche mit einem hohlen Metallwürfel, welcher mit heißem Wasser gefüllt wird, und dessen eine Seitenwand entweder mit Ruß oder mit einem andern Stoff bedeckt ist, während die andern unbedeckt (die eine polirt, die andere geritzt oder mattgeschliffen) bleiben.

Treffen die Wärmestrahlen auf eine glatte, undurchsichtige Fläche, so werden sie ganz so wie die Lichtstrahlen unter demselben Winkel reflectirt, unter welchem sie einfielen.

Hohlspiegel als Brennspiegel. Die Pictet'schen Versuche mit 2 Hohlspiegeln, welche einander so gegenüber gestellt werden, daß sie die Axe gemein haben.

Bringt man in den Brennpunkt des einen ein Thermometer und in den des andern eine glühende Kohle oder Eis, so wird das Thermometer augenblicklich afficirt. Die beiden Körper in den beiden Brennpunkten strahlen ungleich Wärme aus und suchen sich zu einer mittleren Temperatur auszugleichen.

Wärmestrahlen, welche nicht regelmäßig zurückgeworfen werden, nennt man (wie beim Licht) diffundirte Strahlen.

Wärmestrahlen, welche in einen Körper eindringen, können entweder hindurchgelassen oder zurückgehalten (verschluckt, absorbirt) werden.

Die von einem Körper absorbirten Wärmestrahlen erwärmen den Körper.

Das Absorptionsvermögen ist eben so wie das Emissionsvermögen — in den verschiedenen Körpern verschieden groß.

Kienruß absorbirt am vollständigsten.

Franklin's Versuche mit verschiedenfarbigen Tuchlappen auf Schnee. Leslie's Versuche.

In Beziehung auf die Transmission der Wärmestrahlen unterscheidet man die Körper in universell-diathermane, partiell-diathermane und athermane, je nachdem sie von allen Wärmequellen, oder nur von einigen, oder gar keine Wärmestrahlen hindurchlassen.

Zur ersten Gruppe gehören Luft, Steinsalz und klarer farbloser Flußspath, zur letzteren alle undurchsichtigen Körper, mit Ausnahme von schwarzem Glas und Glimmer; alle übrigen Körper lassen nur die Wärmestrahlen der Sonne, der Flammen und des glühenden Platins, aber nicht des bis zu 80° R. erhitzten Kupfers und nur wenig die des höher erhitzten Kupfers hindurch.

Diese Eigenschaft nennt Melloni, mit Beziehung auf das Licht, Thermochrose (Wärmefarbe) oder Diathermansie.

Unter den durchsichtigen festen Körpern ist Eis und Alaun am wenigsten diatherm, unter den flüssigen Wasser.

Bezeichnet man die Intensität der Wärmestrahlung durch die Luft mit 100, so entspricht dem Steinsalz 92, dem Eis für die Oelflamme (der Locatelli'schen Lampe) 6, sonst 0, dem Alaun 9 und dem Wasser 12.

Wärmestrahlen, welche auf einen diathermanen Körper schief auffallen, werden gebrochen (refrangirt) und dispergirt, und es stimmen die Gesetze der Refraction der Wärme — eben so wie die der Reflexion — mit denen des Lichts vollkommen überein. Nur ist der Brechungs-Exponent der Wärmestrahlen auch nach den Wärmequellen verschieden; die heißeren Wärmestrahlen werden nämlich stärker gebrochen.

Wählt man ein Prisma von Steinsalz, welches sich als wärmefarblos sehr eignet, so zeigt sich, daß das Wärmespectrum des Sonnenlichts fast doppelt so lang ist als das Lichtspectrum; es erstreckt sich

vom Violett bis weit über Roth hinaus. Das Maximum desselben liegt eben so weit hinter dem rothen Ende des Lichtspectrums, als dieses vom Gelb entfernt ist. Auch in andern Prismen fallen noch außerhalb des Roth Wärmestrahlen, welche man demnach als ultrarothe (im Gegensatz zu den ultravioletten, chemischen) dunkle Lichtstrahlen bezeichnen kann.

Daß die Wärmestrahlen auch eine Doppelbrechung, eine Polarisation, Beugung und Interferenz erleiden, haben Versuche von Melloni, Forbes, Knoblauch u. A. nachgewiesen. Dazu ist, wie auch zu den subtileren der vorerwähnten Experimente, als Wärmemaß eine Thermosäule (§ 177 extr.) erforderlich, deren Wirksamkeit übrigens auch ohne Kenntniß der Thermo-Electricität wohl verstanden werden kann.

§ 135. Wenn zwei verschieden warme gleichartige Flüssigkeiten rasch gemischt werden, so gleichen sie sich zu einer mittleren Temperatur aus, welche man nach der Richmann'schen Regel findet:

Bedeuten M und m die Massen der Flüssigkeiten, T und t ihre Temperaturen, so ist die Temperatur, zu welcher sie sich ausgleichen,

$$\tau = \frac{M.T + m.t}{M + m}.$$

Sie beruht darauf, daß in den beiden Körpern offenbar die Wärmemenge M.T, resp. m.t enthalten ist, und daß, wenn nicht Wärme nach außen verloren geht, die Summe jener Wärmemengen gleich der Wärmemenge nach der Ausgleichung sein muß.

Sind die Körper, welche mit einander in Berührung kommen, ungleichartig, so ist die Richmann'sche Regel nicht mehr anwendbar, weil verschiedene Körper auch eine verschiedene Wärme-Capacität haben, d. h. ein ungleich großes Vermögen, Wärme aufzunehmen, ohne in der Temperatur zu steigen.

Wenn man nämlich einem Pfund Wasser und einem Pfund irgend eines andern Körpers gleiche Wärmemengen zuführt, so erhöht sich ihre Temperatur nicht um gleich viel Grade, auch wenn beide dieselbe Temperatur hatten. Das Wasser, welches von allen Körpern (Blut und Aetz-Ammoniak ausgenommen) die größte Wärme-Capacität besitzt, erwärmt sich viel weniger als andere Körper und bedarf deshalb größerer Wärmemengen, um eben so sehr als die andern an Temperatur zuzunehmen. Man kann also Wärme-Capacität auch als Wärmebedürftigkeit bezeichnen. Gemessen wird dieselbe durch die specifische Wärme, d. i. durch die Wärme, deren 1 ℔. des fraglichen Körpers bedarf, um von 0° auf 1° erwärmt zu werden. Bei ihrer Angabe bezieht man sich auf die des Wassers als Einheit.

§ 136. Die Wärme-Capacität eines Körpers wird bestimmt

1) mittelst der Mischungsmethode; indem man z. B. ein Pfund Wasser von 0° mit 1 ℔. Quecksilber von 31° rasch mischt. Man erhält alsdann 1° als Ausgleichungs-Temperatur. Da nun die Wärmemenge, welche somit dem Quecksilber entzogen wird, gleich derjenigen sein muß, welche dem Wasser zugeführt wird: so muß man sagen, daß dieselbe Wärmemenge, welche das Wasser um 1° steigen macht, dem Quecksilber entzogen dasselbe von 31° auf 1°, also um 30° erniedrigt und demnach, dem Quecksilber von 1° zugeführt, dasselbe um 30° erhöhen würde. Soll also das Wasser ebenfalls um 30° erhöht werden, so bedarf es einer 30 mal so großen Wärme; d. h. seine Wärme-Capacität ist 30 mal so groß als die des Quecksilbers, die des letzteren demnach $= \frac{1}{30} = 0{,}0333$.

Wählt man 1 ℔. Quecksilber von 0° und 1 ℔. Wasser von 31°, so erhält man als Ausgleichungs-Temperatur 30°, demnach dieselbe Wärme-Capacität.

Allgemeiner: Bezeichnet man die Masse, Temperatur und Capacität des fraglichen Körpers resp. mit M, T, C, die Masse, Temperatur und Capacität des Kühlwassers mit resp. m, t, c und die Ausgleichungs-Temperatur mit τ, so ist die ursprüngliche Wärmemenge des zu untersuchenden Körpers M.T.C, die des Wassers m.t.c, also (unter der Voraussetzung, daß nicht Wärme nach außen verloren gegangen und T > t ist) der Wärmeverlust des fraglichen Körpers $M.T.C - M\tau C$, d. i. $M.C\,(T - \tau)$, der Wärmegewinn des Wassers $m.c\,(\tau - t)$, also $M.C\,(T - \tau) = m.c\,(\tau - t)$, mithin $C = \frac{m.(\tau - t)}{M.(T - \tau)}c$ und für $c = 1$ $\quad C = \frac{m.(\tau - t)}{M.(T - \tau)}$.

2) mittelst der Eisschmelzungs-Methode; indem man sich der von Lavoisier und Laplace erfundenen Calorimeter bedient. Dieß sind Apparate um die Wärmemenge eines Körpers zu messen und bestehen aus 3 in einander gestellten Gefäßen von Eisenblech, von denen das innerste zur Aufnahme des zu untersuchenden Körpers, das mittlere für Eis von 0°, welches geschmolzen werden soll, und das äußere für Eis und Schnee bestimmt ist, durch welche der Einfluß der äußeren Wärme abgehalten wird. Das in dem mittleren Gefäße durch Schmelzen des Eises sich bildende Wasser wird durch eine Röhre abgeleitet und gewogen.

Es sei n die Anzahl der Pfunde, die das abgeflossene Wasser wiegt, also der Pfunde des geschmolzenen Eises; dann ist unter den früheren Bezeichnungen $C = \frac{79{,}25 . n}{M . T}$, wenn T Celsius'sche Grade bedeuten.

Ist T in Graden Réaumur ausgedrückt, dann muß 63 statt 79,25 gesetzt werden.

Durch Versuche ist nämlich festgestellt, daß die Wärme, deren man bedarf, um 1 ℔. Eis von 0° in 1 ℔. Wasser von 0° zu verwandeln, 79¼ mal so groß ist als diejenige, deren man bedarf, um 1 ℔. Wasser von 0° um 1° C zu erhöhen. Diese letztere ist aber die als Einheit angenommene specifische Wärme des Wassers. (cf. § 137.)

3) mittelst der Erkaltungsmethode (von Dulong und Petit); dieselbe beruht darauf, daß ein Körper, welcher nur durch Strahlung Wärme verlieren kann, offenbar um so mehr Zeit zum Erkalten braucht, je größer seine Wärme-Capacität ist.

4) mittelst der Erwärmungsmethode, deren sich Delaroche und Bérard zur Bestimmung der specifischen Wärme der Gase bedienten; sie beruht darauf, daß die Capacität eines Gases um so größer sein muß, je weniger Gas erforderlich ist, um durch Röhren geleitet eine bestimmte Wassermenge in bestimmtem Maße zu erwärmen.

Man erhält auf diesem Wege die Wärme-Capacität der Luft = 0,267.

Daß die specifische Wärme der festen und flüssigen Körper (auch des Wassers) zugleich mit der Temperatur wächst, dagegen mit zunehmender Dichtigkeit abnimmt, haben Dulong und Petit und Regnault nachgewiesen.

2. Die latente Wärme.

§ 137. Fast alle festen unorganischen Körper werden bei zunehmender Wärme flüssig.

Die Temperatur, bei welcher dieß geschieht, der Schmelzpunkt, ist constant. (§ 131, 2.)

Alle Wärme, welche man dem schmelzenden Körper zuführt, wird nur zur Veränderung des Aggregatzustandes verwandt; sie wird latent, gebunden. Und umgekehrt: Tropfbar-flüssige Körper werden durch Entziehung von Wärme fest; ihre Wärme wird frei, entbunden.

Es sind also Eis und Wasser nur Umformungen eines und desselben Stoffes, und nur durch die in ihnen enthaltene Wärmemenge von einander verschieden. Wasser ist Eis + Wärme, Eis ist Wasser minus Wärme.

Auch der Gefrierpunkt (Erstarrungspunkt) ist eine constante Temperatur und fällt dem Begriff nach mit dem Schmelzpunkt zusammen.

Allerdings kann eine Flüssigkeit auch weit unter den Gefrierpunkt erkalten ohne fest zu werden, z. B. Wasser in völliger Ruhe im luftleeren Raume oder unter einer Schicht von Oel bis zu — 8° R, ja bis — 16° R. Bei der geringsten Erschütterung aber gefriert es überall und steigt auf 0°. Aehnliches gilt vom Phosphor.

Die Wärmemenge, welche beim Schmelzen von Eis und Schnee latent wird, ergiebt sich daraus, daß 1 ℔. Schnee von 0° in 1 ℔. Wasser von 63° R (79¼° C) geschüttet sich vollständig auflöst und mit dem Wasser zusammen 2 ℔. Wasser von 0° bildet.

Um also 1 ℔. Schnee von 0° zu schmelzen ist die Wärme erforderlich, welche in 1 ℔. Wasser von 63° R enthalten ist, d. i. die Wärme, welche 1 ℔. Wasser von 0° auf 63° erhöht, demnach das 63fache derjenigen, welche 1 ℔. Wasser von 0° um 1° R steigen macht.

Die Schmelzpunkte der verschiedenen Körper sind äußerst verschieden. Unter den bekannteren Metallen ist nächst dem Platin, dessen Schmelzpunkt man noch nicht kennt, gehämmertes Schmiedeeisen am schwersten schmelzbar (bei etwa 1280° R), dann Stahl (bei etwa 1100°), Gußeisen (bei 900° R), Gold bei 1000°, Kupfer bei 840°, Silber bei 800°. Viel leichter schmelzen Zink (bei 288°), Blei (bei 264°), Zinn (bei 184°). Weißes Wachs schmilzt bei 54° R, gelbes bei 49°, Butter bei 26°.

Für Stoffe, welche bei mittlerer Temperatur flüssig sind, gebraucht man den Ausdruck Gefrierpunkt. Quecksilber gefriert bei — 32° R, Alkohol noch nicht bei — 50°, Aether gar nicht.

Metall-Legirungen schmelzen leichter als die Metalle, aus denen sie bestehen, z. B. das Rose'sche Metall (2 Gew. Th. Wismuth, 1 Th. Zinn und 1 Th. Blei) bei 75°, das Schnellloth (1 Gew. Th. Blei und 2 Th. Zinn) bei 136°.

Der Diamant (Kohle) scheint unschmelzbar; Quarz und Kalk schmelzen im Knallgasgebläse.

Die Wärme wird auch dann latent, wenn ein fester Körper dadurch flüssig wird, daß er sich im Wasser auflöst.

Darauf beruhen die Kältemischungen.

Schon bei einer Auflösung von Salmiak, Glaubersalz, Salpeter oder salpetersaurem Ammoniak in Wasser kann man die Temperatur um 20° erniedrigen; wirksamer noch werden die Mischungen, wenn man statt des Wassers Schnee (weshalb?) oder verdünnte Säuren wählt. Auch verdünnte Säuren mit Schnee erzeugen Kälte.

Mittelst Kochsalz und Schnee (in gleichen Theilen rasch gemengt) erhält man den Fahrenheit'schen Nullpunkt (— 14° R), mittelst salzsauren Kalks mit Schnee sogar, je nach der ursprünglichen Temperatur, eine Kälte von — 36° R bis — 44°.

§ 138. Die Wärme wird 2tens (vollkommen) latent, wenn eine tropfbare Flüssigkeit im Freien kocht, d. h. in allen ihren Theilen in eine expansive, in Dampf verwandelt wird. Die alsdann überall in der Flüssigkeit sich entwickelnden Dämpfe streben in der Flüssigkeit aufzusteigen, müssen also ihren Druck überwinden und eine wallende Bewegung hervorbringen, an welcher man eben das Sieden (Kochen) erkennt.

Bei **constantem Luftdruck** ist der Kochpunkt — kleine Abweichungen abgerechnet — eben so constant, wie der Schmelzpunkt. Auch im Uebrigen gilt von ihm, was vom Schmelzpunkt gesagt wurde, nämlich daß alle beim Kochen zugeführte Wärme nur zur Veränderung des Aggregatzustandes verwandt, daß sie **gebunden** wird. Und umgekehrt: Dämpfe werden durch Entziehung der Wärme flüssig; ihre Wärme wird **frei**, wird entbunden.

Wasserdampf ist Wasser + Wärme; Wasser ist Wasserdampf minus Wärme.
In Gefäßen von Glas kocht Wasser bei etwas höherer Temperatur als in metallnen, noch mehr in irdnen, in Gefäßen von Fayence ꝛc.; aber die Temperatur der Dämpfe bleibt dieselbe.

In einem speciellen Falle wird das Sieden gänzlich verhindert; wenn nämlich tropfbare Flüssigkeiten in Metallgefäße gegossen werden, welche weit über den Siedepunkt der Flüssigkeit erhitzt sind. Der Leidenfrost'sche Versuch. Wie erklärt man die Erscheinung?

Ferner sind auch die Kochpunkte der verschiedenen Flüssigkeiten äußerst verschieden.

Bei einem Barometerstand von 28″ (Par.) kocht das Wasser bei 80° R, Alkohol bei 62°, Schwefeläther bei 29°, schweflige Säure bei — 8°, dagegen Leinöl erst bei 252° und Quecksilber bei 288°. Die übrigen Metalle hat man noch nicht zum Sieden bringen können, desgleichen auch diejenigen Körper nicht, welche sich in größerer Hitze chemisch zersetzen.

Dagegen ist der Kochpunkt der Flüssigkeiten von dem Druck abhängig, welcher auf der Flüssigkeit lastet; er steigt und sinkt mit diesem zugleich in so bestimmter Weise, daß man z. B. aus dem Kochpunkt des Wassers auf den Druck, also auf den Barometerstand und (nach § 64) auf die Höhe über dem Horizont schließen kann. **Thermometrische Höhenmessung.**

Der Grund davon ist, daß die Expansivkraft der Dämpfe mit der Temperatur wächst.

Im leeren Raum kocht Wasser schon bei 16° R und darunter, in den Pulshämmern und Wasserhämmern bei der Wärme der Hand, auf Bergen früher als im Niveau des Meeres, auf dem Montblanc bei 69° R.

Soll eine Flüssigkeit über ihren normalen Siedepunkt erhitzt werden, so muß man die sich bildenden Dämpfe am Entweichen hindern; dann werden sie den Druck, unter welchem sich die Flüssigkeit befindet, vermehren und eine Erhöhung des Siedepunktes bewirken.

Dieß geschieht im Papin'schen Topfe, einem luftdicht verschließbaren Metallgefäß.

Stoffe (Salze), welche im Wasser aufgelöst werden, erhöhen den Siedepunkt desselben; Stoffe, die sich ihm nur mechanisch beimengen, verändern ihn nicht.

§ 139. Daß Flüssigkeiten an ihrer Oberfläche auch bei viel niedrigeren Temperaturen, ja schon unterhalb des Gefrierpunktes, gasförmig werden, lehrt die Erfahrung (z. B. welche?). — Eine solche Verwandlung der Flüssigkeit nennt man Verdunstung.

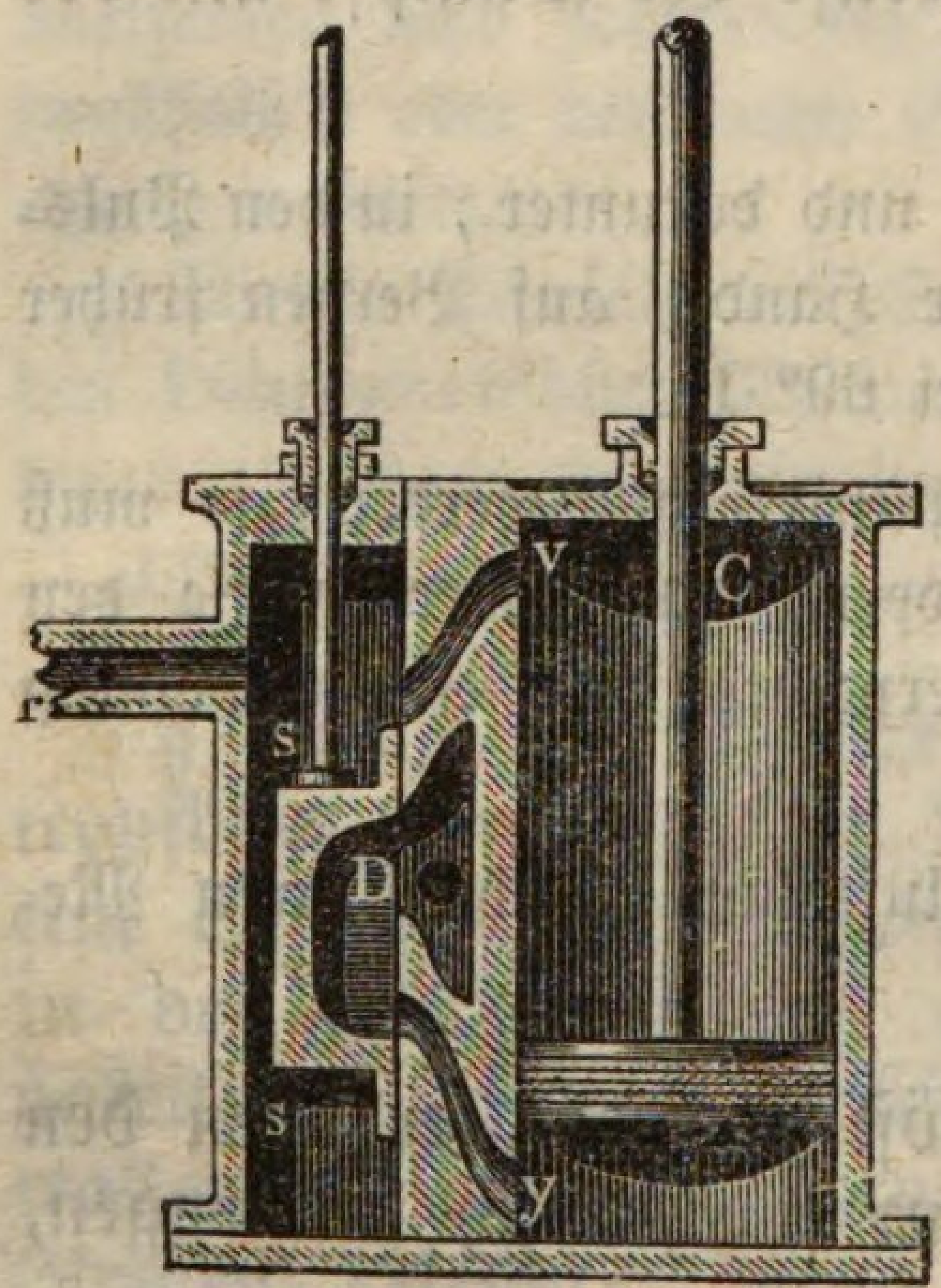
Dieselbe geschieht um so rascher, je näher die Temperatur der Flüssigkeit dem Kochpunkt liegt, in je mehr Oberfläche sie ausgebreitet, und je freier die Luft von bereits gebildeten Dünsten ist.

Ob die Dünste sich in der Luft oder im luftleeren Raum entwickeln, ist ziemlich gleichgiltig; sie unterliegen also ganz so, wie die Gase, dem Dalton'schen Gesetz (§ 71). Die Expansivkraft eines solchen Gemenges aus Luft und Wasserdünsten ist gleich der Summe der Expansivkräfte der Luft und der Dünste. Das Mariotte'sche Gesetz dagegen gilt für Dünste nur annähernd und nur bis zu einer gewissen Grenze, über welche hinaus die Dünste durch Compression nicht mehr an Dichtigkeit und Spannkraft (Expansivkraft) zunehmen, sondern sich condensiren, d. h. tropfbar-flüssig werden. Dieses Maximum der Spannkraft heißt der Sättigungspunkt und der (leere oder lufterfüllte) Raum, welcher die Dünste enthält, mit Dampf gesättigt. Eine Flüssigkeit, welche sich in einem abgeschlossenen Raume befindet, erreicht diesen Sättigungspunkt sehr bald.

§ 140. Die Spannkraft der bei Temperaturen über 80° R entwickelten Wasserdämpfe steigt in viel höherem Maße als ihre Temperatur. Während die bei 80° gebildeten nur den Druck von einer Atmosphäre besitzen, haben die von 97°, von 108° und von 116° schon den Druck von resp. 2, 3 und 4 Atmosphären.

Man überzeugt sich davon leicht mittelst eines in verschiedener Weise construirten Dampfbarometers.

Fig. 130.



Die bei hohen Temperaturen gebildeten Wasserdämpfe benutzt man wegen der in ihnen latent gewordenen Wärme zum Dampfkochen und Dampfheizen und wegen ihrer bedeutenden Spannkraft zur Bewegung von Maschinen (Dampfmaschinen). Dieselben bestehen in ihrer einfachsten Form bekanntlich aus einem Dampfkessel mit Proberöhrchen und Sicherheitsventil, dem Dampfcylinder C (Fig. 130), in welchem sich ein Kolben an einer Stange dampfdicht bewegt, und einem Gefäß mit kaltem Wasser, dem Condensator D, in welchem sich die gebrauchten zurückweichenden Dämpfe condensiren. Zwei Röhren v und y, welche in der Nähe der oberen und unteren Grundfläche des Cylinders von seiner Seitenwand

ausgehen, communiciren abwechselnd, je nach der Stellung des Schiebers ss, mit dem Condensator oder mit der vom Dampfkessel ausgehenden Dampfröhre r.

Eine solche Dampfmaschine, bei welcher die wirkenden Dämpfe wenig mehr als eine Atmosphäre Druck ausüben, heißt eine Niederdruck-Maschine. Bei den Hochdruck-Maschinen fehlt der Condensator, weil die Spannkraft der treibenden Dämpfe so bedeutend ist ($2\frac{1}{2}$ — 10 und mehr Atmosphären), daß die zurückweichenden Dämpfe, in die Luft strömend, dieselbe mit Leichtigkeit verdrängen und den größten Theil ihrer Expansivkraft verlieren.

(Expansions-Maschinen.)

Hero v. Alexandria. Salomon de Caus 1645. Newcomen. James Watt 1763. Fulton der Erfinder der Dampfschiffe 1807. Dampfwagen zum Transport von Personen seit 1826 in England.

Die Wirksamkeit einer Dampfmaschine kann man aus der Expansivkraft der wirkenden und der gebrauchten Dämpfe (die man aus ihrer Temperatur erhält) und der Grundfläche des Kolbens berechnen, da der Druck einer Atmosphäre auf einen Quadratzoll etwa 14 ℔. beträgt. Man muß aber dabei die sehr bedeutende Reibung der verschiedenen Kolben und die Ungleichmäßigkeit der Wirkung berücksichtigen. Dasselbe gilt von der Berechnung des Effectes der Maschine aus der Menge Wasser, welche in einer Secunde in Dampf von bestimmter Spannkraft verwandelt wird.

Die thatsächliche Wirkung ergiebt sich am einfachsten aus der Wassermenge, welche die Maschine z. B. in 1 Min. 1 Fuß hoch hebt. Nach Pferdekräften bestimmt man diese Leistung, wenn man die Pferdekraft (§ 17) zu 450 ℔. in 1'' oder 27000 ℔. in 1 Min. rechnet und dabei erwägt, daß ein Pferd, ohne zu ermüden, in 24 St. nur 8 St., die Dampfmaschine dagegen ununterbrochen arbeiten kann.

§ 141. So wie die Verdampfung des Wassers und die Wärme, welche das Verdampfen bewirkt, eine gewisse Arbeit verrichtet, wird andererseits auch durch mechanische Arbeit Wärme erzeugt.

Nach Joule's Versuchen, mit welchen Clapeyron's, Holzmann's u. A. übereinstimmen, vermag die Wärme, welche ein Kilogramm Wasser von 0° um 1° C erwärmt, etwa 438 Kilogramm 1 Meter hoch zu heben. Das mechanische Aequivalent der Wärme-Einheit ist demnach 438 Kilogrammeter oder, alles auf preußisches Maß reducirt, beinahe 1400 Fußpfund. (Mayer, Carnot.)

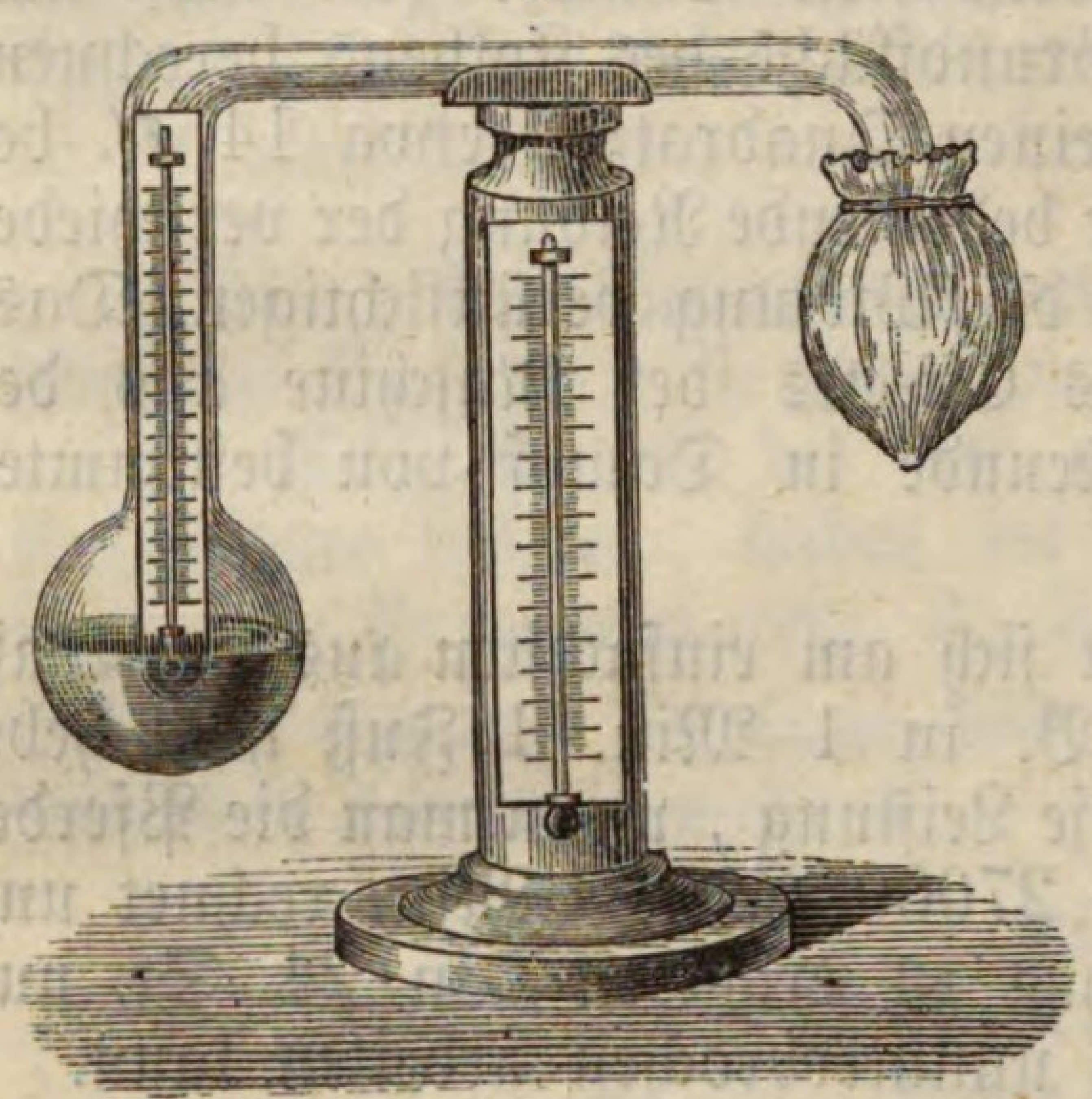
§ 142. In Folge der ununterbrochenen Verdunstung des Wassers enthält die Atmosphäre stets Wasserdünste, deren Menge und Spannkraft man mittelst der Hygrometer bestimmt.

Man unterscheidet Hygrometer mit hygroskopischen Substanzen (§ 72) und diejenigen, welche auf der Wärmebindung durch Verdunsten beruhen.

1) Von den hygroskopischen Substanzen, — welche durch Aufnahme von Feuchtigkeit entweder eine Aenderung der Farbe (z. B. Thonschiefer), oder im Gewicht (mehrere Salze), oder in den Dimensionen erleiden — wählt man jetzt nur noch die Darmsaiten, welche sich in der Feuchtigkeit zusammenziehen und aufschwellen (Lambert's „Wetterhäuschen"), das gereinigte Menschenhaar, welches in der Feuchtigkeit länger wird (Saussure's Haar-Hygrometer) und Fischbein, welches sich quer auf die Richtung der Fasern ausdehnt (Deluc's Fischbein-Hygrometer).

Ihre Construction ist äußerst einfach, desgleichen auch die Einrichtung ihrer Scala (des Punktes der größten Trockenheit 0° und des Punktes der höchsten Feuchtigkeit 100°).

Fig. 131.



2) a. Das Daniell'sche Schwefeläther-Hygrometer (Fig. 131); es besteht aus einer an beiden Enden in zwei ungleich lange, herabgehende Arme rechtwinklig umgebogenen Glasröhre, welche an den Enden in Kugeln ausgeblasen ist. Die Kugel an der kürzeren Röhre ist mit Musselin umwickelt; die andere, zum größeren Theil mit Schwefeläther gefüllt, enthält innerhalb des Aethers eine Thermometerkugel, deren Röhre in der längeren Röhre sich befindet. Der ganze Glaskörper ist luftleer und enthält nur Aetherdünste.

Ein Thermometer am Stativ giebt die Luft-Temperatur an.

Befeuchtet man allmählich den Musselin mit Aether, so schlagen sich die Dünste in der Röhre nieder; der Aether in der andern Kugel verdunstet von neuem, entzieht deshalb dem Thermometer und der Glaskugel Wärme, bis die dieselbe umgebenden Wasserdünste sich condensiren und als Thau an der Kugel ablagern. Die Temperatur, bei welcher dieß geschieht, und die durch das innere Thermometer angegeben wird, heißt der Condensationspunkt oder Thaupunkt.

Welche Mängel hat dieser Apparat?

b. Das August'sche Psychrometer, aus 2 sehr empfindlichen, genau übereinstimmenden Thermometern bestehend, von denen das eine die Luft-Temperatur angiebt, während die Kugel des andern mit

Musselin umwickelt ist, welcher durch Capillar-Attraction feucht erhalten wird.

Dieses Thermometer geht, wenn nicht gerade die Atmosphäre mit Wasserdünsten gesättigt ist, stets bis zu einer Temperatur herab, bei welcher es stationär wird (die Verdunstungskälte), und welche nach Beobachtung und Rechnung ziemlich genau in der Mitte zwischen der Luft-Temperatur und dem Thaupunkt liegt, so daß man letzteren aus ihr bestimmen kann.

§ 143. Aus der Natur der Wärmequellen, welche die Atmosphäre erwärmen, folgt, daß mit der Erhebung über den Horizont die Temperatur abnehmen muß, und zwar, wie die Beobachtung lehrt, auf je 550 bis 870′ um 1° R.

Dagegen nimmt die Wärme nach dem Innern der Erde zu, und zwar auf je 110 bis 130′ um 1° R. — Folgerungen daraus.

Da die Wärmewirkung der Sonnenstrahlen um so größer ist, je mehr ihr Neigungswinkel sich einem Rechten nähert, muß die Wärme 1) vom Aequator an nach den Polen zu geringer werden, 2) an jedem einzelnen Tage und im Laufe eines jeden Jahres periodisch zu- und abnehmen.

Das Wärme-Maximum tritt an den einzelnen Tagen durchschnittlich zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags, und im Laufe des Jahres in der Mitte Juli ein.

Grund dafür.

Mittlere Tagestemperatur. Mittlere Monatstemperatur. Mittlere Jahrestemperatur. Isothermen. Mittlere Sommerwärme. Isotheren. Mittlere Winterkälte. Isochimenen. — In Berlin ist die mittlere Jahrestemperatur 7,2° R, in Breslau 6,6° R, in Paris 8,6° R.

Klima. Seeklima oder Küstenklima. Continentales oder excessives Klima.

§ 144. Durch die ungleiche Erwärmung der Atmosphäre werden in derselben Bewegungen, Strömungen hervorgerufen, welche man bekanntlich Winde nennt, und an denen man untersucht 1) die Richtung, woher sie wehen (Windfahnen; Windrose), 2) die Stärke (Geschwindigkeit), gemessen durch Anemometer,

(Mäßige Winde haben eine Geschwindigkeit von 10′ in 1″, Stürme von 30′, Orkane von 60—80 und mehr Fuß.)

3) die Dauer, nach welcher man sie in regelmäßige und unregelmäßige, und die ersteren wieder in beständige — der constante Ostwind in der Region der Calmen (in der Nähe des Aequators) und der Nordost- und Südost-Passatwind (wie zu erklären?; entgegengesetzte Passate) — und in periodische theilt.

Die letzteren sind entweder periodisch aussetzend oder periodisch nach entgegengesetzter Richtung wehend, die Moussons und die Land- und Seewinde in der Nähe von Meeren und größeren Landseeen.

(Ihre Erklärung.)

Auch die unregelmäßigen (veränderlichen) Winde befolgen ein gewisses Gesetz. Dove's Gesetz der Winddrehung.

4) Wärme und Kälte und Salubrität.

Heiße Winde: der Harmattan an der Nord- und Westküste von Afrika, der Sirocco (Mistral, Föhn), der Chamsin in Aegypten und der giftige Samum (Chamyelé) in der arabischen, syrischen und persischen Wüste. Kalte Winde in der Wüste Cobi u. a. O. — Ost- und Nordwinde sind bei uns meist trocken und kalt, Süd- und Westwinde feucht und warm. Weshalb?

§ 145. Die in der Luft enthaltenen Wasserdünste condensiren sich zu Wolken und Nebel und kehren in Form von Thau, Reif, Regen und Schnee zur Erde zurück.

An den Wolken hat man die Gestalt (Federwolke cirrus, Haufenwolke cumulus und Schichtwolke stratus und deren Uebergänge), die Farbe, die Höhe und ihre Bewegung zu untersuchen. (Howard.)

Nebel und Wolke unterscheiden sich nur durch ihre Erhebung über den Horizont.

Der Thau entsteht durch allmähliche Niederschlagung des in der Luft enthaltenen Wasserduustes an kälteren Gegenständen. Drosometer. Wells.

Ist die Temperatur, bei welcher der Wasserdunst sich condensirt, unter 0°, so entsteht Reif.

Schlägt der Wasserdunst sich aus Wolken nieder, so entsteht Regen oder Schnee, je nachdem die Luft-Temperatur an der Erdoberfläche über oder unter dem Gefrierpunkte ist.

Man unterscheidet den Regen nach seiner Dauer, Verbreitung, Entstehung und Heftigkeit in Landregen, Strichregen, Gewitterregen, Staubregen, Platzregen, Wolkenbrüche. — Schwefelregen, Blutregen. Ombrometer oder Hyetometer. — Dunstregen.

Das meiste Regenwasser ist Schneewasser, weil die meisten Wolken, auch die regnenden, sich in einer Höhe befinden, wo die Luft-Temperatur erheblich unter 0° ist.

Schneeflocken, Schloßen.

Diejenige Erhebung über den Horizont, in welcher der Schnee auch an ganz exponirten Orten nie schmilzt, bestimmt die Schneegrenze; dieselbige richtet sich nach der mittleren Sommerwärme

der Orte und hat nicht den Gefrierpunkt zur mittleren Jahrestemperatur.

Sie befindet sich am Aequator bei 14000′ Höhe (1,2° R mittlere Jahrestemperatur), in den Alpen bei 8600′ (— 3,6° R), in den Karpathen bei 8360′, in der kalten Zone an der Erdoberfläche (bei — 5° R).

Siebenter Abschnitt.

Vom Magnetismus.

§ 146. Magnetisch nennt man diejenigen Körper, welche 1) Eisen (auch Nickel und Kobalt) anziehen und festhalten, 2) wenn sie sich frei bewegen können, eine bestimmte Richtung, nämlich im Allgemeinen die von Süden nach Norden einnehmen.

Magnetismus ist demnach die Eigenschaft jener Körper, vermöge deren sie die genannten Erscheinungen zeigen.

Erklärt werden dieselben durch Annahme eines unendlich feinen unwägbaren Stoffes oder richtiger, wie sich später (§ 151) zeigen wird, zweier solcher magnetischen Stoffe oder Fluida.

Die erste Eigenschaft kannte schon Thales, der dem Magnet deshalb eine ψυχή zuschrieb; die 2te ist erst seit dem 12ten Jahrhundert bekannt. 1307 Erfindung des Compasses durch Kaufleute in Amalfi in Unteritalien. Flavio Gioja oder Giri.

Man unterscheidet natürliche und künstliche Magnete, demnach auch natürlichen und künstlichen Magnetismus. Natürliche Magnete sind Eisenoxyduloxyde, z. B. der Magneteisenstein, oder Verbindungen von Eisen mit Schwefel, wie der Magnetkies. Doch sind sie, so lange sie in der Erde liegen, noch nicht magnetisch; sie werden es erst, wenn sie zu Tage treten.

Man findet sie im Norden von Amerika, Europa und Asien, auch in Thüringen, Böhmen und Ungarn. Im Alterthum wird Magnesia in Lydien (daher der Name) als Fundort bezeichnet, desgleichen der Berg Ida (daher lapis Idäus).

Die künstlichen Magnete verfertigt man in Form von Stäben, Hufeisen und Nadeln.

§ 147. Die Wirksamkeit eines Magnets erfolgt auch im luftleeren Raume und durch Zwischenkörper (z. B.?); nur durch eine Eisenplatte,

welche ihre Flächen dem Magnet und dem anzuziehenden Eisen zuwendet, wird sie aufgehoben.

Die Anziehung eines Magnets ist nicht an allen Stellen gleich groß. Die Punkte der größten Anziehung nennt man Pole und die Linie, welche sie mit einander verbindet, die Axe des Magnets. In der Mitte zwischen beiden Polen befindet sich eine Stelle ohne Anziehung, der Indifferenzpunkt, die Indifferenzzone. Man ermittelt die beiden Pole durch Eisenfeilspäne, in welche man den Magnet legt.

Denjenigen Pol, welcher sich nach Norden wendet, nennen wir Deutsche den Nordpol (positiven Pol), den andern den Südpol (negativen Pol).

Die Franzosen bezeichnen — aus einem erst später verständlichen Grunde (§ 150) — den nach Norden sich wendenden als den pôle austral, den andern als pôle boréal.

Zwei Magnete wirken auf einander nach dem Gesetz:

Ungleichnamige Pole (Nordpol und Südpol) ziehn einander an, gleichnamige stoßen einander ab. Die ungleichnamigen heißen deshalb freundschaftliche Pole, die andern feindliche. (Nachweis des Gesetzes.)

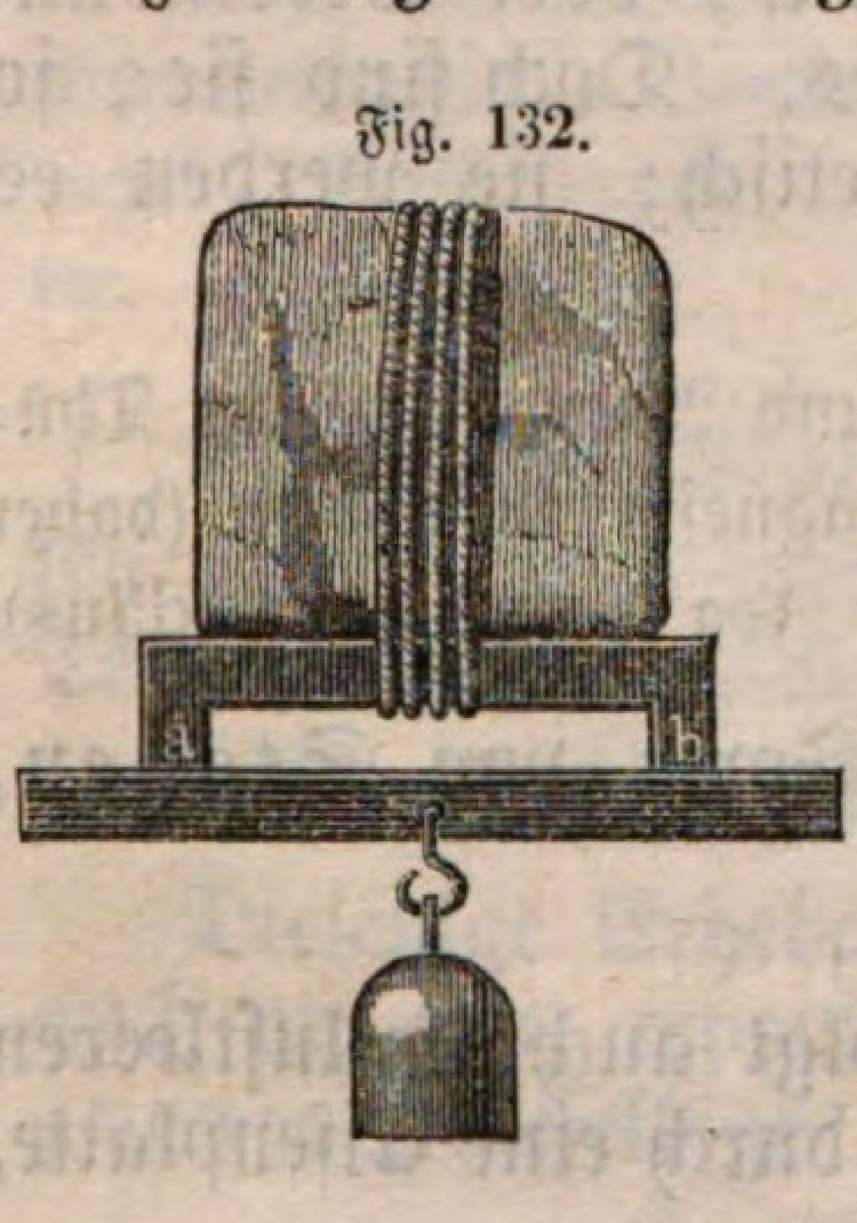
Die Abstoßung benutzt man bei der Prüfung des Magnetismus mittelst der Magnetnadel.

Die magnetische Anziehung nimmt ab im quadratischen Verhältniß der zunehmenden Entfernung.

Hansteen und Gauss. Magnetische Drehwage.

§ 148. Erhalten (conservirt) wird die Kraft des Magnets dadurch, daß man ihn beschäftigt, d. h. daß man ihm weiches Eisen (kohlenstofffreies) zum Anziehn anlegt. Und zwar thut man wohl, ihn in maximo zu belasten, d. h. ihm so viel Eisen anzuhängen, als er zu tragen vermag.

Fig. 132.



Die Kraft der natürlichen Magnete erhöht man durch die Armatur (Bewaffnung, Panzerung) d. h. durch Abschleifen der Pole und Anbinden einer Platte aus weichem Eisen, welche in senkrecht gestellte Cylinder endet. Diese bilden dann die künstlichen Pole a und b, an welche man das anzuziehende weiche Eisen, den Anker, anlegt.

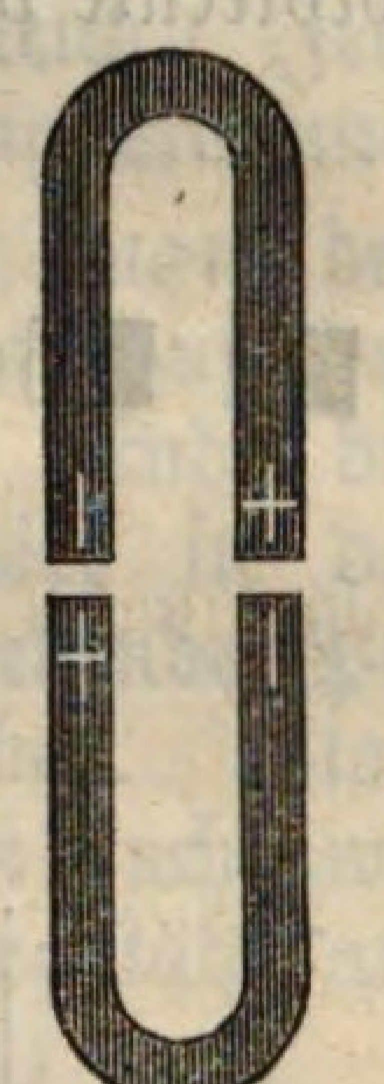
Durch die Armatur wird die Kraft der Magnete, namentlich der kleineren, auf das 10—300fache gesteigert.

Geschwächt wird ein Magnet durch Mangel an Beschäftigung, durch Erschütterungen, Abreißen des Ankers, durch Feuchtigkeit, welche Rost (das unmagnetische Eisenoxydhydrat) erzeugt, und durch Wärme.

§ 149. Erregt wird in einem Stabe aus weichem Eisen ein vorübergehender Magnetismus durch Vertheilung 1) dadurch, daß man ihn in den Wirkungskreis (die Atmosphäre) eines Magnets bringt.

In dem dem Magnetpol zugewendeten Ende des Stabes entsteht (in Uebereinstimmung mit § 147) der entgegengesetzte, in dem abgewendeten der gleichnamige Magnetismus. Die einander zugewandten entgegengesetzten Pole beschäftigen, binden einander, so daß sie nach außen an Wirksamkeit verlieren. In noch höherem Grade zeigt sich dieß an einem Hufeisenmagnet, dem man den Anker anlegt, weil hier beide Pole desselben in Wirksamkeit treten. Der magnetische Kreis ist in diesem Falle ganz geschlossen.

Fig. 133.

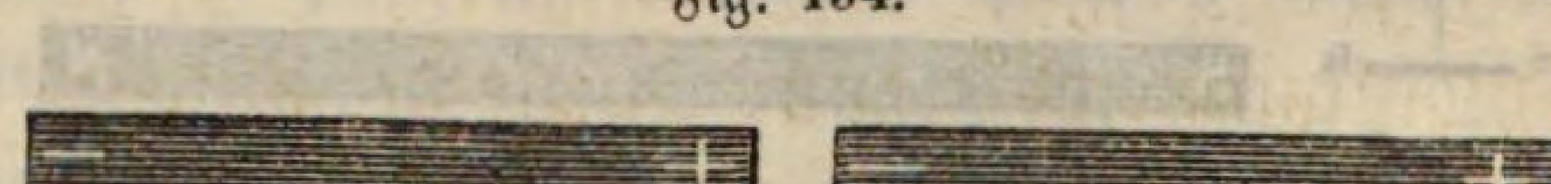


Am vollständigsten binden einander zwei Hufeisenmagnete, welche so an einander gelegt sind, daß sie eine geschlossene Curve bilden, und die entgegengesetzten Pole an einander liegen, wie in Fig. 133, oder auch zwei Magnetstäbe, welche mit zwei entgegengesetzten Polen so an einander liegen, daß jeder der Stäbe die Verlängerung des andern bildet, wie in Fig. 134.

Zwei Magnetismen, welche sich solchergestalt binden, schwächen einander nicht, sondern verstärken einander, indem sie sich gegenseitig hervorrufen. Eine Schwächung des Magnetismus bis zur Vernichtung erfolgt, wenn in obigen Figuren die gleichnamigen Pole bei einander liegen.

Endlich ist noch zu bemerken, daß, wenn zwei Hufeisenmagnete oder Magnetstäbe auf einander liegen, so daß die gleichnamigen Pole zusammentreffen, sie einander verstärken; sie sind als ein Magnet anzusehn.

Fig. 134.



Magnetische Batterie. Magnetisches Magazin.

2) dadurch, daß man den Stab in senkrechter Lage (oder in der Lage der frei schwebenden Inclinationsnadel, § 153) hält; noch mehr, wenn man ihn in dieser Lage aufstößt, feilt u. s. w. oder, glühend gemacht, rasch erkalten läßt. In dem unteren Ende des Stabes entsteht auf unsrer nördlichen Erdhälfte nördlicher, im oberen Ende südlicher Magnetismus. In der südlichen Hälfte der Erdkugel ist das Entgegengesetzte der Fall.

Schon diese Erscheinung deutet darauf hin, daß unsre Erde als ein großer Magnet anzusehen ist, und daß die nördliche Erdhälfte (nach § 147) südpolaren, die südliche nordpolaren Magnetismus haben muß.

Daß Magnetismus auch durch Electricität (Electromagnetismus; Oersted 1820), durch Wärme (Thermomagnetismus oder Thermoëlectricität; Seebeck 1822) und durch Rotation (Rotationsmagnetismus; Arago 1825) entsteht, wird im nächsten Abschnitt zur Erörterung kommen.

§ 150. Will man die magnetischen Erscheinungen durch Annahme eines Substrats erklären, so kann dieß offenbar nicht ein Stoff sein, der von dem magnetischen Eisen in das andere übergeht; noch weniger können zwei entgegengesetzte Fluida aus dem einen Körper in den andern strömen.

Sie müssen beide sowohl in dem magnetischen, als in dem unmagnetischen, aber magnetisch werdenden vorhanden sein und in letzterem nur einander binden, neutralisiren, bis sie unter Einwirkung des magnetischen sich von einander trennen, jedoch so trennen, daß sie das Molecül, dem sie eben angehören, nicht verlassen. Es ergiebt sich also eine Trennung wie in Fig. 135, wo alle weißen Theile der Molecüle das eine Fluidum, die schwarzen das entgegengesetzte bedeuten.

Fig. 135

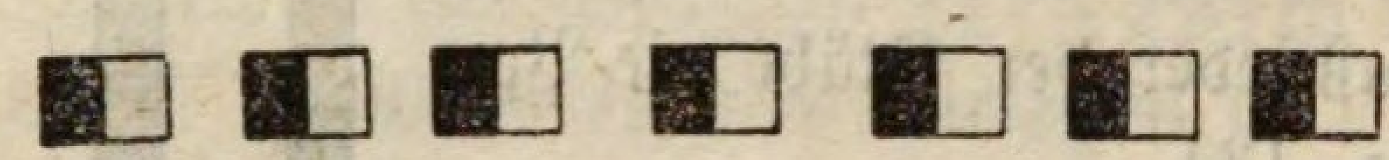
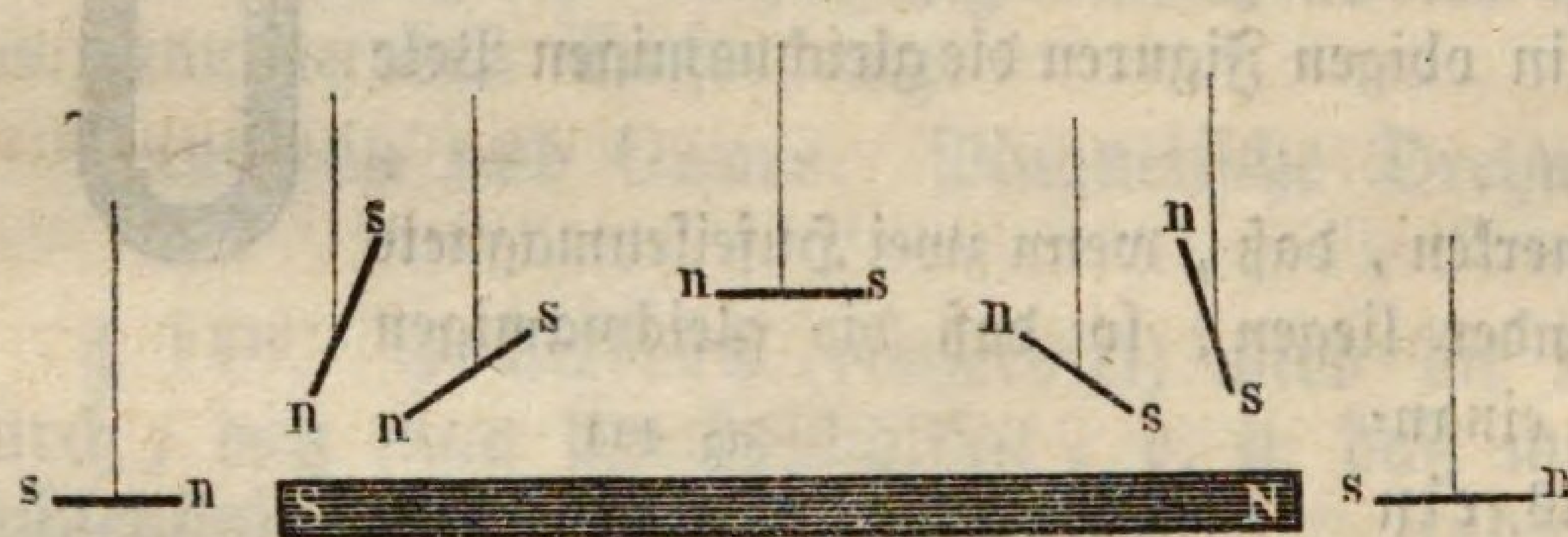


Fig. 136.



Gründe dafür: Ein Magnet verliert nicht an Intensität, wie viel Eisenstäbe man auch durch ihn magnetisiren möge. — Ist ein Eisendraht durch Vertheilung magnetisch geworden, und schneidet man von dem entfernteren Ende ein Stück ab, so ist es völlig unmagnetisch. — Zerschneidet man ein magnetisches Eisenstäbchen, so ist nicht der eine Theil positiv, der andere negativ magnetisch; sondern beide Theile haben beide Magnetismen.

Die Verschiedenheit in der Stärke der Anziehung an den verschiedenen Stellen eines Magnets erklärt sich aus der Verschiedenheit der Zahl der wirkenden Molecüle, eben so auch die Verschiedenheit der Lage, welche ein Stückchen Eisendraht annimmt, wenn man es, in seinem Schwerpunkt unterstützt, zunächst über die Mitte eines Magnetstabes hält, daß es dem Magnet parallel ist (Fig. 136), und dasselbe längs dem Magnet hinführt. Nimmt man statt des Stückchens Eisendraht Eisenfeilspäne, welche man auf ein über den horizontal liegenden Polen eines Magnets horizontal gehaltenes und gespanntes Papier streut, so bilden sie, magnetisch werdend, die sogenannten magnetischen Curven von dem einen Pol zum andern.

In weichem Eisen trennen sich die beiden magnetischen Fluida leicht, im Stahl dagegen nicht; der Stahl besitzt eine größere „Coër-

citivkraft", die sich der Trennung widersetzt. Dieser Kraft entspricht an Stärke auch die Energie, mit welcher der Stahl die Wiedervereinigung der beiden Fluida, nachdem sie aus einander getreten sind, hindert.

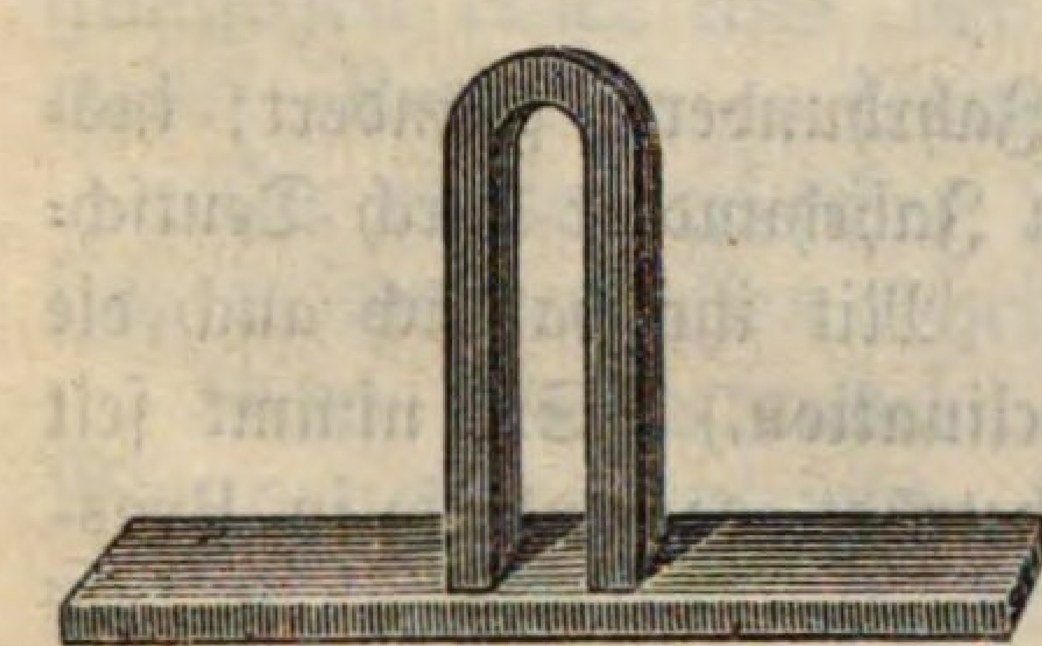
Das weiche Eisen zeigt eine gewisse Gleichgiltigkeit in Bezug auf das Verhalten der beiden Fluida; es läßt dieselben sich leicht trennen, aber auch eben so leicht sich wieder vereinigen; der Stahl widersteht eben so sehr ihrer Trennung als ihrer Wiedervereinigung.

§ 151. Dauernder Magnetismus wird in einem Stahlstabe dadurch hervorgerufen, daß man ihn mit einem Magnet streicht.

Man unterscheidet einfachen Strich, Doppelstrich und Kreisstrich.

Beim einfachen Strich streicht man den Stahlstab wiederholt von dem einen Ende bis zum andern, immer in derselben Richtung und mit demselben Pole — (das Ende, bei welchem man aufhört, erhält den entgegengesetzten Pol) — oder, besser, die eine Hälfte des Stabes von der Mitte aus wiederholt mit dem einen Pol, dann die andere Hälfte mit dem andern. (Duhamel's getrennter Strich.) Jede Hälfte erhält den dem streichenden Pol entgegengesetzten Magnetismus.

Fig. 137.



Beim Doppelstrich streicht man den Stab von der Mitte aus mit einem Hufeisenmagnet, immer von dem einen Ende bis zum andern (Fig. 137) und hört in der Mitte auf. Der hinterdrein gehende Pol bestimmt die Polarität des Stabes. Statt eines Hufeisenmagnets kann man auch zwei entgegengesetzte Pole zweier Magnetstäbe anwenden. (Michell und Aepinus.)

Außerdem werden noch verschiedene Maßregeln empfohlen zur Verhütung von Folgepunkten (Consequenzpunkten), d. h. von anomalen Polen, welche sich zwischen den normalen an einzelnen Stellen bilden.

Ein Hufeisen von Stahl wird am besten nach Hoffer's Methode in folgender Weise magnetisirt: Man legt dem Hufeisen einen Anker aus weichem Eisen an und streicht dann mit beiden Polen eines Hufeisenmagnets, der in seinen Dimensionen dem andern Hufeisen entspricht, vielmals entweder von den Enden aus nach der Krümmung und darüber hinaus oder (weniger gut) in der entgegengesetzten Richtung. Im 1sten Fall erhält man an den Enden Pole, die den streichenden gleichnamig sind, und an der Krümmung noch zwei entgegengesetzte; im 2ten Fall ergeben sich natürlich die entgegengesetzten Magnetismen.

Die Stärke des Magnetismus, welche man zu erreichen vermag, hängt von der Kraft des benutzten Magnets und von der Größe und Qualität (nämlich?) des zu magnetisirenden Stahls ab.

Daß auch das Licht (namentlich das violette) im Stahl bleibenden Magnetismus hervorzurufen vermöge, wurde von Morechini und Lady Sommerville behauptet, wird aber von Riess und Moser — und wohl mit Recht — bestritten.

§ 152. Die Magnetnadel stellt nur an sehr wenigen Punkten der Erde sich genau von Süden nach Norden; fast überall bildet ihre Richtung, die magnetische Nordlinie, mit der astronomischen — und eben so der magnetische Meridian mit dem astronomischen — einen Winkel, welcher der Declinationswinkel, die Abweichung, heißt.

Die Punkte ohne Abweichung bilden die agonischen Linien (Linien ohne Declination). Es giebt ihrer 3, von denen die eine Amerika von Norden nach Süden in der Nähe der Ostküste durchschneidet, die 2te von Nowa-Zemblja aus sich längs der Grenze von Europa und Asien hinzieht und durch den persischen Meerbusen sich nach dem Südpol wendet, während die 3te, eine geschlossene Curve, sich im nordöstlichsten Theil von China befindet.

Oestlich von der 1sten und westlich von der 2ten agonischen Linie herrscht westliche Abweichung (d. h. der Nordpol der Nadel weicht nach Westen ab) und sie nimmt zu mit der Entfernung von jenen Linien. Zu beiden Seiten der agonischen Linien giebt es Linien von gleicher Abweichung (isogonische Linien).

Die agonischen Linien haben sich im Laufe der Jahrhunderte geändert; insbesondere steht von der 1sten fest, daß sie im 17ten Jahrhundert durch Deutschland ging und sich allmählich westlich bewegt hat. Mit ihr hat sich auch die Declination geändert. (Seculare Variation der Declination.) Sie nimmt seit einigen Decennien jährlich um 4 bis 5 Min. ab und beträgt gegenwärtig in Breslau etwa 12°.

Außerdem beobachtet man an der Magnetnadel noch tägliche Variationen — indem sie Vormittags sich westlich bewegt (bis 2 Uhr), dann wieder zurückgeht bis Morgens 8 Uhr — und zwar im Sommer stärkere als im Winter.

§ 153. Die Richtung der Magnetnadel zeigt, wenn sie sich vollkommen frei bewegen kann, noch eine 2te Abweichung gegen die astronomische Nordlinie. Wenn man nämlich eine im Schwerpunkt unterstützte Stahlnadel magnetisirt, so schwebt sie, in dem früheren Punkte unterstützt, nicht mehr wie vorher horizontal; sondern sie senkt sich auf der nördlichen Erdhälfte mit dem Nordpol (auf der südlichen mit dem Südpol) unter den Horizont. Schwebt sie im magnetischen Meridian, so heißt der Winkel, welchen sie mit der magnetischen Nordlinie (dem Horizont) bildet, die Inclination.

Nur an wenigen Punkten der Erdoberfläche ist dieselbe gleich Null; diese Punkte bilden den magnetischen Aequator, welcher den Erdäquator im Meerbusen von Guinea unter einem Winkel von 12° und dann wieder in der Nähe der Mulgrave's Inseln schneidet. Linien von gleicher Inclination nennt man Isoclinen.

Die Inclination wächst vom Aequator aus nach den Polen zu; im hohen Norden von Amerika, eben so südlich von Neuholland (im 70sten Breitenkreise) beträgt sie circa 90°. (Die magnetischen Erdpole.) Sie erleidet ebenfalls seculare und tägliche Variationen.

Im Jahre 1671 betrug die Inclination zu Paris 75° und hat seitdem beständig abgenommen, so daß sie 1861 66° 7′ war.

Da die Declinationsnadel horizontal schweben muß, hat man sie nach der Magnetisirung — wie nämlich? — zu ajüstiren.

Ablenkungen der Magnetnadel, welche durch temporäre (Gewitter, Stürme, Erdbeben, Nordlichte) oder locale Ursachen („störende" Eisenmassen) bewirkt werden, nennt man Aberrationen, Deviationen oder Störungen der Magnetnadel.

Schutz des Schiffscompasses gegen den Einfluß des Schiffseisens.

Halley, Hansteen, W. Weber, Gauss.

§ 154. Aus alledem geht hervor, daß man die Erde als einen großen Magnet anzusehen hat, dessen Indifferenzzone der magnetische Aequator ist, und dessen Intensität von da an nach den Polen hin zunimmt.

Man bestimmt die Kraft des Erdmagnetismus mittelst der Schwingungszeit einer aus der Gleichgewichtslage herausgebrachten Magnetnadel (Borda). — Gauss, Weber.

Die Linien gleicher Intensität, welche mit den Isothermen ziemlich zusammenfallen, heißen isodynamische Linien.

Eine Magnetnadel, welche sich der Einwirkung des tellurischen Magnetismus entzieht, die also nicht genöthigt ist, sich in die magnetische Nordlinie einzustellen (α und ἵστημι), heißt eine astatische Nadel.

Man erhält sie auf die einfachste Weise, wenn man zwei gleich starke Magnetnadeln an ihren Mittelpunkten so mit einander fest verbindet, daß die eine über der andern ihr parallel schwebt, und entgegengesetzte Pole zusammen liegen.

§ 155. Daß die Pole eines sehr kräftigen Hufeisen-Magnets (eines Electromagnets, cf. § 174) auf alle Körper wirken, hat Faraday 1845 gezeigt. Es stellen sich nämlich horizontal schwebende Stäbchen zwischen seinen Polen entweder axial, d. h. in der Richtung von einem Pol zum andern, oder äquatorial, d. h. in einer zu der vorigen senkrechten Richtung.

Die erste Art Körper nennt man ferromagnetisch oder schlechtweg magnetisch (Faraday: paramagnetisch), die andern diamagnetisch.

Zu der ersten Gruppe gehören von Metallen: Eisen, Nickel, Kobalt, Platin, Mangan, Chrom u. a., außerdem Flußspath, Graphit, manche Sorten Papier und Siegellack, Holzkohlen u. s. w.; zu der 2ten Wismuth, Antimon, Zink,

Zinn, Blei, Quecksilber, Silber, Kupfer, Gold, außerdem Bergkrystall, Alaun, Glas. Phosphor. Holz, Brodt 2c., Blut, Alkohol, Aether, Wasser und alle Gase, mit Ausnahme des Sauerstoffs. — Lösungen magnetischer Körper in Wasser sind, je nach ihrer Stärke, magnetisch, indifferent, oder diamagnetisch.

Magnetische Körper, welche sich in einer gleich starken magnetischen Flüssigkeit befinden, sind indifferent, in einer stärkeren diamagnetisch, in einer schwächeren oder diamagnetischen magnetisch.

Aehnliches gilt von diamagnetischen Körpern, die von andern Substanzen umgeben sind.

Plücker, Tyndall.

Achter Abschnitt.

Von der Electricität.

§ 156. Electrisch nennt man zunächst diejenigen Körper, welche leicht bewegliche Körper anziehen und (unter Umständen) wieder abstoßen, und bei einem höheren Grade electrischer Erregung auf alle unsre Sinne wirken; z. B.? Electricität ist demnach die Eigenschaft jener Körper, vermöge deren sie die erwähnten Erscheinungen hervorbringen.

Erklärt werden die Wirkungen der Electricität durch Annahme zweier unendlich feinen, unwägbaren Fluida, welche in jedem Körper vorhanden sein, sich aber in ihm, so lange er noch unelectrisch ist, binden, neutralisiren sollen, und deren Trennung erst den Körper electrisch macht.

Der Name kommt her von ἤλεκτρον, Bernstein, dessen Vermögen leichte Körperchen anzuziehen schon den alten Griechen bekannt war.

Die Electricität ist entweder ursprünglich oder mitgetheilt, je nachdem sie in einem Körper ohne eine schon vorhandene electrische Erregung hervorgerufen wird, oder mittelst derselben.

§ 157. In ursprünglicher Weise wird die Electricität erregt

1) durch Reiben (Schlagen) — Reibungs-Electricität; dahin gehört auch die Erregung von E. durch Druck und durch Trennung der Theile;

2) durch Berührung differenter Metalle — Berührungs-Electricität (Contact-Electricität, Volta'sche El.) und durch Berührung differenter Metalle mittelst feuchter Zwischenkörper (also durch den chemischen Proceß) — Galvanische Electricität, Galvanismus;

3) durch Wärme; dahin gehört die Thermoëlectricität (Thermomagnetismus);

4) durch Magnetismus — Magnetoëlectricität, und

5) durch den Lebensproceß der Thiere — thierische Electricität.

1) Reibungs-Electricität.

§ 158. Man unterscheidet die Körper in Leiter und Nichtleiter, je nachdem sie die Electricität leicht annehmen, über ihre Oberfläche verbreiten und leicht wieder abgeben — oder nicht. Zu den ersteren gehören die Metalle, Kohle, Wasser, Wasserdünste, auch der menschliche Körper, zu den letzteren Glas, Porzellan, Harz, Schellack, Bernstein, Schwefel, Wolle, Seide, trockne nicht verdünnte Luft u. a. m.

Die Leiter sind einer ursprünglichen Erregung wenig fähig und heißen deshalb anelectrisch. Dagegen sind die Nichtleiter, welche eine Electricität, deren sie theilhaftig geworden, mit großer Energie fest halten, vorzugsweise für Erregung ursprünglicher Electricität geeignet und heißen deshalb idioëlectrisch.

Will man in einem Leiter die hervorgerufene Electricität zurückhalten, so muß man ihn allseitig mit Nichtleitern umgeben, ihn „isoliren". Die Nichtleiter heißen deshalb auch Isolatoren.

§ 159. Eine mit Wolle oder Seide geriebene Glasstange zieht Kork- oder Hollundermark-Kügelchen, welche an seidenen Fäden, also isolirt aufgehängt sind, an und stößt sie nach erfolgter Berührung beharrlich ab. Diese selben Kügelchen werden unmittelbar darauf von Schellack, das mit Wolle gerieben war, angezogen und v. v. Man sieht also, daß Glas und Schellack, mit Wolle gerieben, sich entgegengesetzt verhalten.

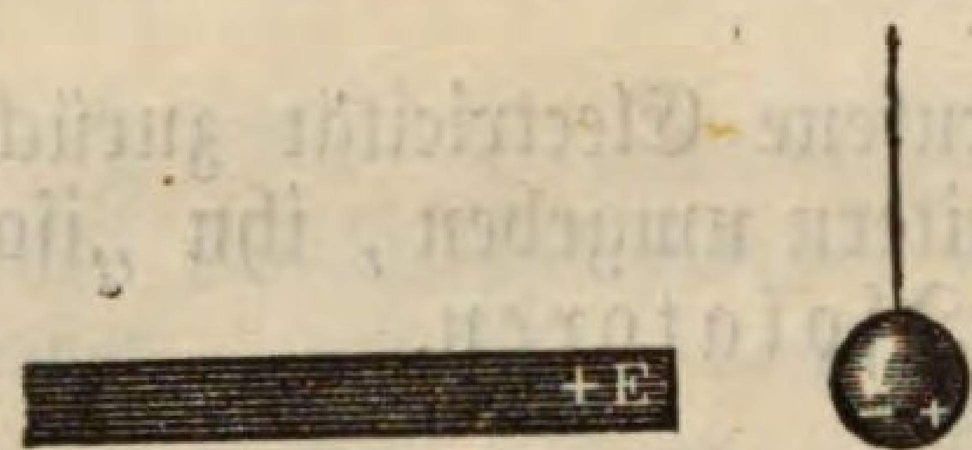
Dufay, welcher diesen Gegensatz entdeckte, bezeichnete ihn mit Glas- und Harz-Electricität. Diese Benennung ist einseitig, da viele andere Körper ein ähnliches entgegengesetztes Verhalten zeigen, und falsch, in sofern Glas auch Harz-Electricität und Harz auch Glas-Electricität annehmen kann.

Man bezeichnet den electrischen Gegensatz durch die Ausdrücke positive und negative Electricität, indem man unter ersterer (+ E) diejenige versteht, welche man im Glase hervorruft, wenn man es mit Wolle reibt, und unter letzterer (— E) diejenige, welche im Siegellack entsteht, wenn es mit Wolle gerieben wird. Prüft man die Electricität des Körpers, mit welchem gerieben wird, so findet man sie der des andern entgegengesetzt. Wolle und Seide sind also gegen Glas negativ, gegen Harz positiv electrisch. Desgleichen sind auch die übrigen idioëlectrischen Körper positiv oder negativ electrisch, je nach dem andern Körper, mit welchem man sie reibt.

Hiernach kann man für einige Körper eine — allerdings nicht sicher feststehende — Reihe bilden, in welcher jeder Körper gegen die folgenden positiv electrisch ist, und v. v., nämlich: Katzenfell, hellpolirtes Glas, Porzellan, Haare, Wolle, Siegellack, mattgeschliffnes Glas, Harz, Schwefel, Zinn-Amalgam. Rauhigkeit und Wärme disponiren einen Körper für die negative, Glätte und Kälte für die positive Electricität. (Belege dazu.) Ueberhaupt ist die electrische Erregung oft sehr variabel.

§ 160. Die Abstoßung eines vorher angezogenen Korkkügelchens hat natürlich einen innern Grund. Es ist nämlich, wie man sich leicht überzeugt, selbst — und zwar gleichnamig — electrisch geworden. Macht man in dieser Weise zwei Korkkügelchen durch Glas (oder beide durch Harz) electrisch, so stoßen sie einander ab; theilt man dagegen dem einen positive, dem andern negative Electricität mit, so ziehen sie einander an. Es gilt also für die Electricität dasselbe Gesetz der Anziehung und Abstoßung wie für den Magnetismus (cf. § 147).

Fig. 138.



Aus diesem Gesetz erklärt sich auch die Anziehung und nachherige Abstoßung der Korkkügelchen durch einen electrischen Körper. Die Wirkung des letzteren nämlich, welche schon in einer gewissen Entfernung beginnt, besteht darin, daß er in den Korkkügelchen die beiden Electricitäten (electrischen Fluida) trennt, die gleichnamige abstößt und die entgegengesetzte anzieht, wie Fig. 138 zeigt, und da die Anziehung wegen der größeren Nähe der entgegensetzten Electricität überwiegt, das Korkkügelchen schließlich anzieht. Diese Erregung von Electricität, welche mit Zurückziehung des electrisirenden Körpers sofort endigt, nennt man Vertheilung der Electricität.

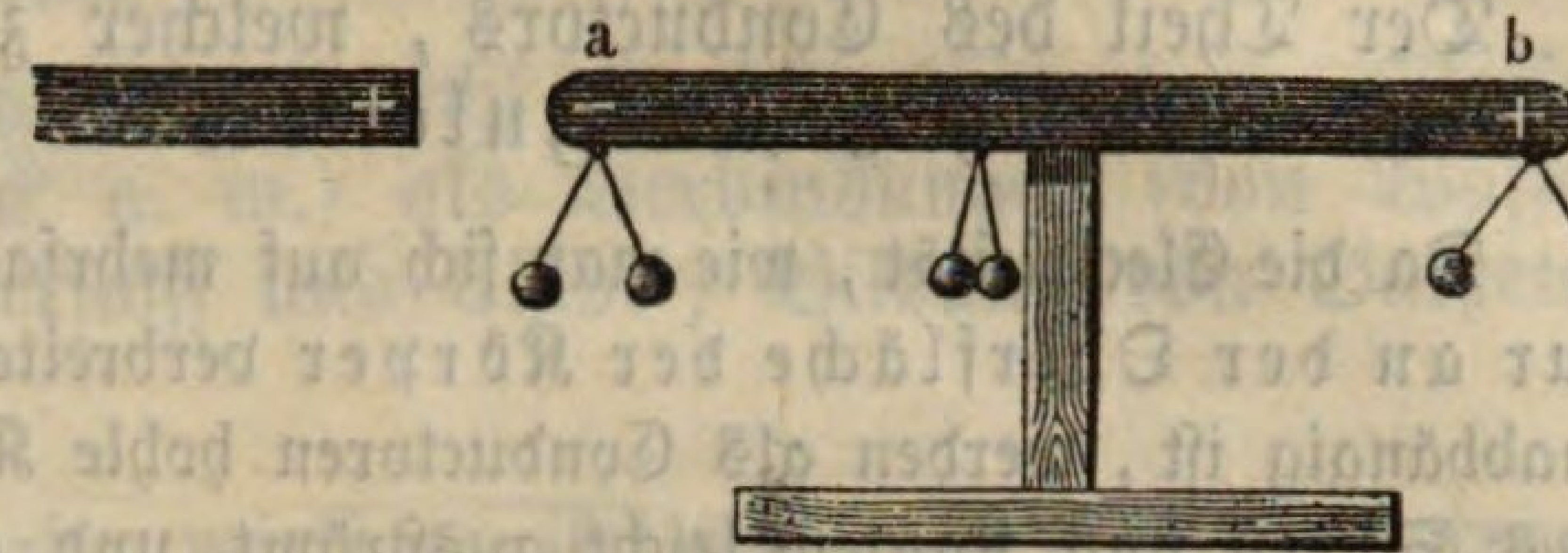
Eine Vereinigung von + E und — E erfolgt, wenn beide Körper einander berühren oder so nahe kommen, daß ein „electrischer Funke" überspringt. Das Korkkügelchen hat nunmehr nur eine, die dem electrisirenden Körper gleichnamige Electricität, und wird demnach abgestoßen.

In ähnlicher Weise kann man dem Korkkügelchen die ihm mitgetheilte Electricität entziehen, indem man es mit der bloßen Hand berührt, also mit der Erde leitend verbindet.

Die Vertheilung der Electricität läßt sich sehr gut an einem isolirten Leiter ab (Fig. 139) erkennen, an dessen Enden a und b Korkkügelchen an leinenen (leitenden) Fäden aufgehängt sind, und welchem ein (in der Figur positiv) electrischer Körper genähert wird. Die Korkkügelchen bei a divergiren mit negativer, die bei b mit positiver El., die ersteren schwächer, weil die Electricität bei a durch + E gebunden ist, während die bei b frei ist.

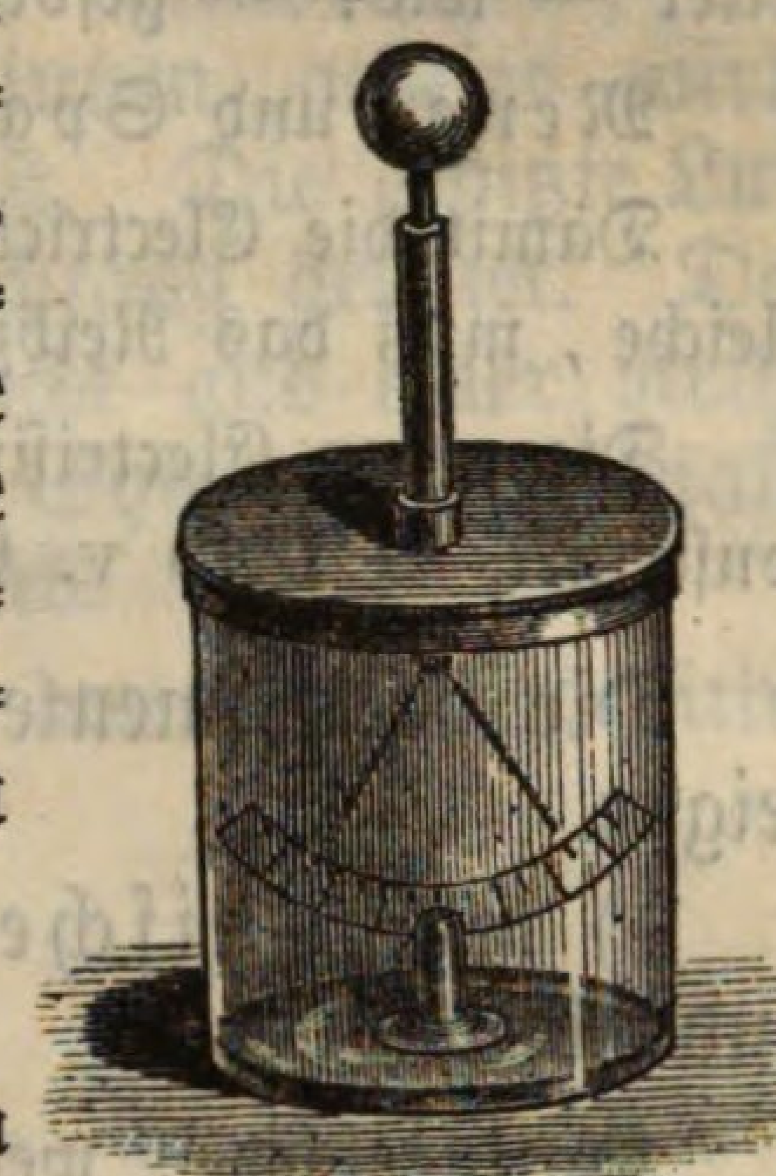
Welche weitere Versuche lassen sich noch anstellen?

Fig. 139.



§ 161. Die Art und Stärke (Spannung) der Electricität erkennt man mittelst der **Electrometer** oder **Electroskope**. Unter diesen ist außer dem mehrfach erwähnten **Korkkügelchen-Electrometer** (Canton) hervorzuheben 1) das Volta'sche **Strohhalm-Electrometer**, welches aus 2 Strohhalmen besteht, die an einem leitenden Metalldraht befestigt und in einer Glaskrause eingeschlossen sind, wie Fig. 140 angiebt; 2) das Bennet'sche Goldblatt-Electrometer, welches statt der Strohhalme Goldblättchen hat, und 3) das Bohnenberger'sche (Behrens, Riess), in welchem nur **ein** Goldblättchen sich befindet, nämlich zwischen den entgegengesetzten Polen zweier Zamboni'schen Säulen (cf. § 172).

Fig. 140.



Henley's Quadranten-Electrometer.

Die Benutzung der Electrometer geschieht am besten auf Grund der Vertheilung der Electricität. Nähert man nämlich dem Electroskop (Fig. 140), dessen Knopf man mit der Hand berührt, einen positiv electrischen Körper, so nimmt man den Goldblättchen die freie positive Electricität, und es bleibt, wenn man gleichzeitig die Hand und den erregenden positiven Körper zurückzieht, in den divergirenden Goldblättchen **negative** Electricität. Wird nunmehr dem Knopf ein positiv electrischer Körper genähert, so ruft er im Knopf (gebundene) negative, in den Enden der Goldblättchen freie positive Electricität hervor, welche jene vorerregte negative vermindert; die Goldblättchen müssen also weniger divergiren und v. v.

Zur **Messung** der electrischen Spannung bedient man sich der Coulomb'schen Drehwage, mittelst deren man auch nachweist, daß die Stärke der electrischen Wirkung dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional ist.

§ 162. Alle bisher erwähnten electrischen Erscheinungen lassen sich mittelst einer Porzellanröhre, welche man mit Zinn-Amalgam (1 Th. Zinn, 1 Th. Zink, 2 Th. Quecksilber) reibt, leicht constatiren.

Um stärkere Electricität zu erhalten, bedient man sich der **Electrisir-Maschine**, welche bekanntlich besteht

1) aus dem **Reiber**, einem Nichtleiter, gewöhnlich einer Scheibe oder einem Cylinder von Glas,

2) aus dem **Reibzeug**, einem Lederkissen, welches durch Federn an den Reiber angedrückt wird und auf der dem Reiber zugewendeten Seite mit (dem Kienmayer'schen) Zinn-Amalgam bestrichen ist, und

3) aus dem Conductor, einem isolirten Leiter.

Der Theil des Conductors, welcher zunächst die Electricität des Reibers erhält, heißt der Zuleiter.

Da die Electricität, wie man sich auf mehrfache Weise überzeugen kann, sich nur an der Oberfläche der Körper verbreitet, von der Masse derselben also unabhängig ist, werden als Conductoren hohle Körper verwendet. Da sie ferner aus Spitzen und Kanten leicht ausströmt und eben so leicht in sie übergeht, während abgerundete Körper sie besser zurückhalten, müssen Conductor und Zuleiter — wie? — geformt sein.

Menge und Spannung der Electricität. Schlagweite.

Damit die Electricität des Reibzeugs sich nicht mit der des Reibers ausgleiche, muß das Reibzeug mit der Erde leitend verbunden werden.

Die ersten Electrisir-Maschinen wurden von Hausen und Winkler um 1744 construirt. — Otto v. Guericke 1676. — Zeug- und Harz-Maschinen.

Die Experimente, welche man mit der Electrisir-Maschine anstellt, zeigen

1) mechanische Wirkungen, nämlich Erscheinungen der Anziehung und Abstoßung.

Korkkügelchen, welche an leinenen oder seidenen Fäden gehalten werden, Puppentanz der Korkkügelchen, electrisches Glockenspiel, Aufschwellen von Baumwolle; Haare auf dem Kopfe eines Menschen, der auf einem „Isolirschemel" steht, u. s. w. Electrisches Flugrad, dessen Bewegung darauf beruht, daß die Electricität besonders stark aus Spitzen ausströmt, also eine Art Reactionsrad. Electrischer Wind.

2) Lichterscheinungen. Electrische Funken, welche entstehen, wenn die Electricität durch einen Nichtleiter, z. B. die Luft, hindurchgeht, bis zu 40" Länge.

Blitzscheibe, Blitzröhre. Luftleere Röhren. Electrisches Ei.

Im Dunkeln zeigt sich ein Ueberströmen electrischen Lichtes aus dem Reiber in den Zuleiter und aus dem Conductor in einen sich nähernden Leiter. Bei der positiven Electricität des (Reibers und des) Conductors ist das Licht strahlig, bei der negativen des Reibzeugs (die man wie? erhält) punktuell, ein leuchtender Stern.

Ueberhaupt zeigt sich die positive Electricität strahlig, die negative concentrirt. Lichtenberg'sche Figuren.

3) Wärme-Erregung bis zur Entzündung leicht verbrennlicher Körper, z. B. des Aethers, des Knallgases (electrische Pistole), des erwärmten Alkohols u. a. m.

4) Physiologische Wirkungen bekannter Art.

Der „electrische" Geruch, welcher sich entwickelt, ist dem der schwefligen Säure oder des Phosphors ähnlich und rührt von einem sich bildenden Gase her, wel-

ches von Schönbein Ozon genannt worden ist und ein modificirter Sauerstoff (Wasserstoffüberoxyd) zu sein scheint.

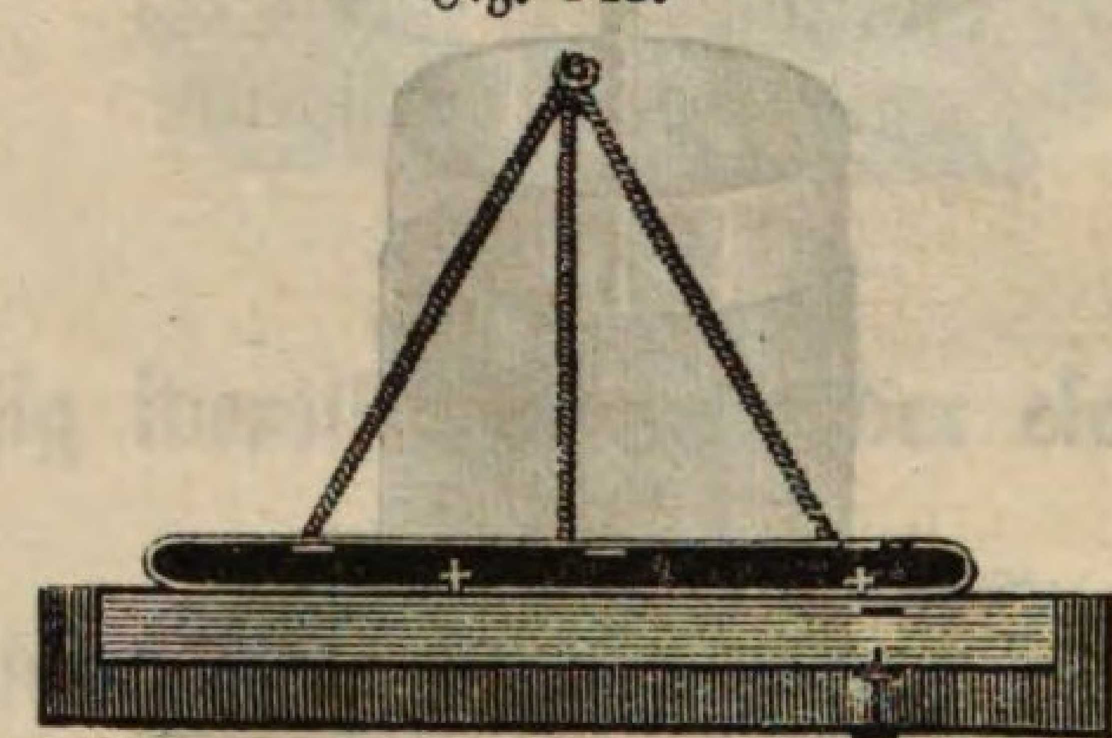
5) Chemische Wirkungen, sowohl Zersetzungen (von Wasser, Jodkalium, Kupfervitriol u. a. m.) als Verbindungen (von Wasserstoff und Sauerstoff, Wasserstoff und Chlor, Bildung von Salpetersäure u. dergl.).

§ 163. In hohem Grade wirksam ist auch die von Armstrong 1840 erfundene, ebenfalls auf Reibung beruhende Dampf-Electrisir-Maschine. Dieselbe besteht aus einem cylindrischen, auf Glasfüßen stehenden Dampfkessel, welcher von innen geheizt wird, nachdem er bis zu $\frac{2}{3}$ mit Wasser gefüllt worden ist. Die erhitzte Luft wird in Röhren durch das Wasser in einen Rauchfang geleitet. Der Dampf, bis zu 6 Atmosphären gespannt, entweicht aus einer Reihe von verschließbaren Röhren und strömt gegen ein System von Metallspitzen, welche mit der Erde leitend verbunden sind.

Der feuchte Dampf wird durch Reibung an den Röhren positiv, der Dampfkessel negativ electrisch.

Bedingungen für die Wirksamkeit der Maschine.

Fig. 141.



Um lange andauernde Electricität zu erhalten, dient der von Wilke erfundene, von Volta (1776) verbesserte Electrophor. Derselbe beruht auf der Vertheilung der Electricität (Influenz) und besteht aus 3 Theilen, dem Harzkuchen, welcher durch Peitschen und Reiben mit Fuchsschwanz negativ electrisch gemacht wird, dem Deckel, einer isolirten leitenden Platte, welche etwas kleiner als der Harzkuchen, aber von derselben Gestalt (meist rund) ist, und der metallnen Form oder Schüssel, in welche der Harzkuchen gegossen ist.

Die negative Electricität, welche die obere Fläche des Kuchens durch Peitschen erhält, ruft durch Influenz in der oberen Fläche der Schüssel positive, in der unteren negative Electricität hervor. Legt man den Deckel auf den Kuchen, so entsteht, ebenfalls durch Vertheilung, in der untern Fläche positive, in der andern negative Electricität, wie Fig. 141 zeigt. Frei sind also nur die beiden negativen Electricitäten der äußeren Flächen des Deckels und der Schüssel. Davon kann man sich mittelst eines Electrometers und angehängter Korkkügelchen überzeugen.

Wie experimentirt man mit dem Electrophor? — Statt der Harzmasse kann man auch eine Platte von Guttapercha oder von gehärtetem Kautschuk nehmen.

Benutzung des Electrophors für das electrische Feuerzeug.

Auf die Erregung von Electricität durch Vertheilung hat Holtz (desgleichen Töpler) die Construction einer Electrisir-Maschine gegründet, welche sich besonders dadurch empfiehlt, daß sie einen continuirlichen Strom von Electricität liefert. Näher auf die Beschreibung und Theorie dieser Influenz-Maschinen einzugehn, liegt wohl außerhalb der Grenzen eines Leitfadens.

§ 164. Die Spannung der Electricität kann durch Anhäufung derselben in einer gegebenen Fläche mittelst der Franklin'schen electrischen Tafeln und der Kleist'schen oder Leydner Flasche (v. Kleist 1745 und Cunäus in Leyden 1746) sehr erhöht werden. Beide Apparate beruhen ebenfalls auf der Vertheilung der Electricität.

Fig. 142.

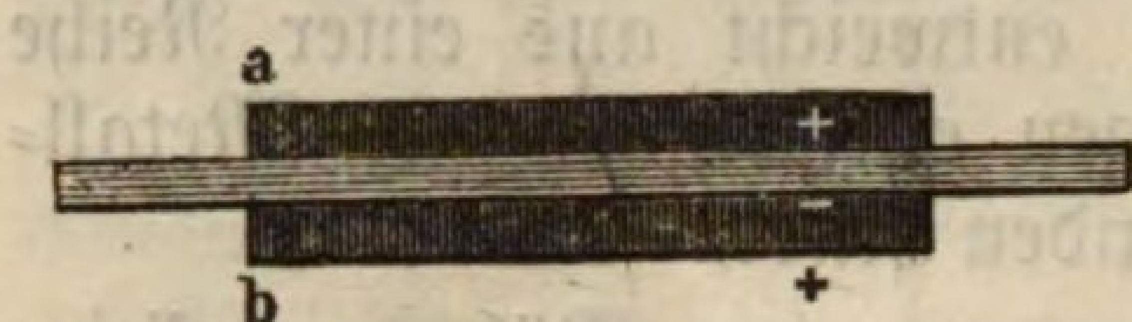
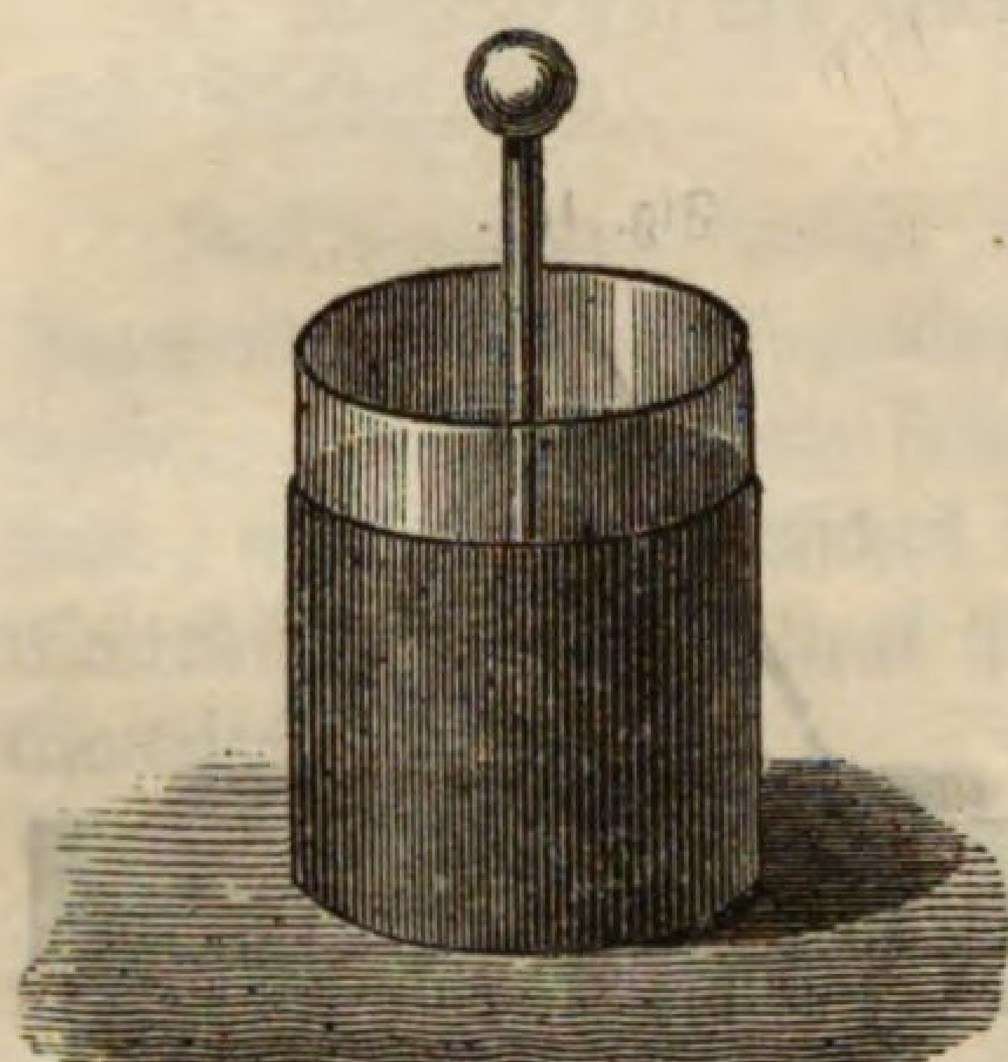


Fig. 143.



Die electrische Tafel besteht in einer Glasplatte, welche auf beiden Seiten mit einer Metallscheibe so belegt ist, daß der Rand frei bleibt (Fig. 142).

Theilt man der einen Belegung (z. B. a) positive Electricität mit, so wird in der andern (b) durch Influenz Electricität erregt. Leitet man die positive Electricität der Platte b ab, so bindet die zurückbleibende negative Electricität einen Theil der positiven in a, und es kann die Platte a von neuem Electricität aufnehmen u. s. f.

Auf diese Weise „ladet" man die eine Belegung mit positiver, die andere mit negativer Electricität, und man „entladet" sie, wenn man beide Belegungen mit einander in leitende Verbindung bringt.

Auslader. Selbstentladung. Electrisches Residuum.

Um ein Ueberspringen des electrischen Funkens von der einen Belegung zur andern zu verhindern, wird der unbelegte Rand mit einem Schellack-Firniß überzogen.

Giebt man der Glasglocke die Form einer Flasche, wie Fig. 143 sie zeigt, und stellt man auf den Boden der innern Belegung einen in einen Knopf endigenden Messingstab, so hat man eine Kleist'sche Flasche.

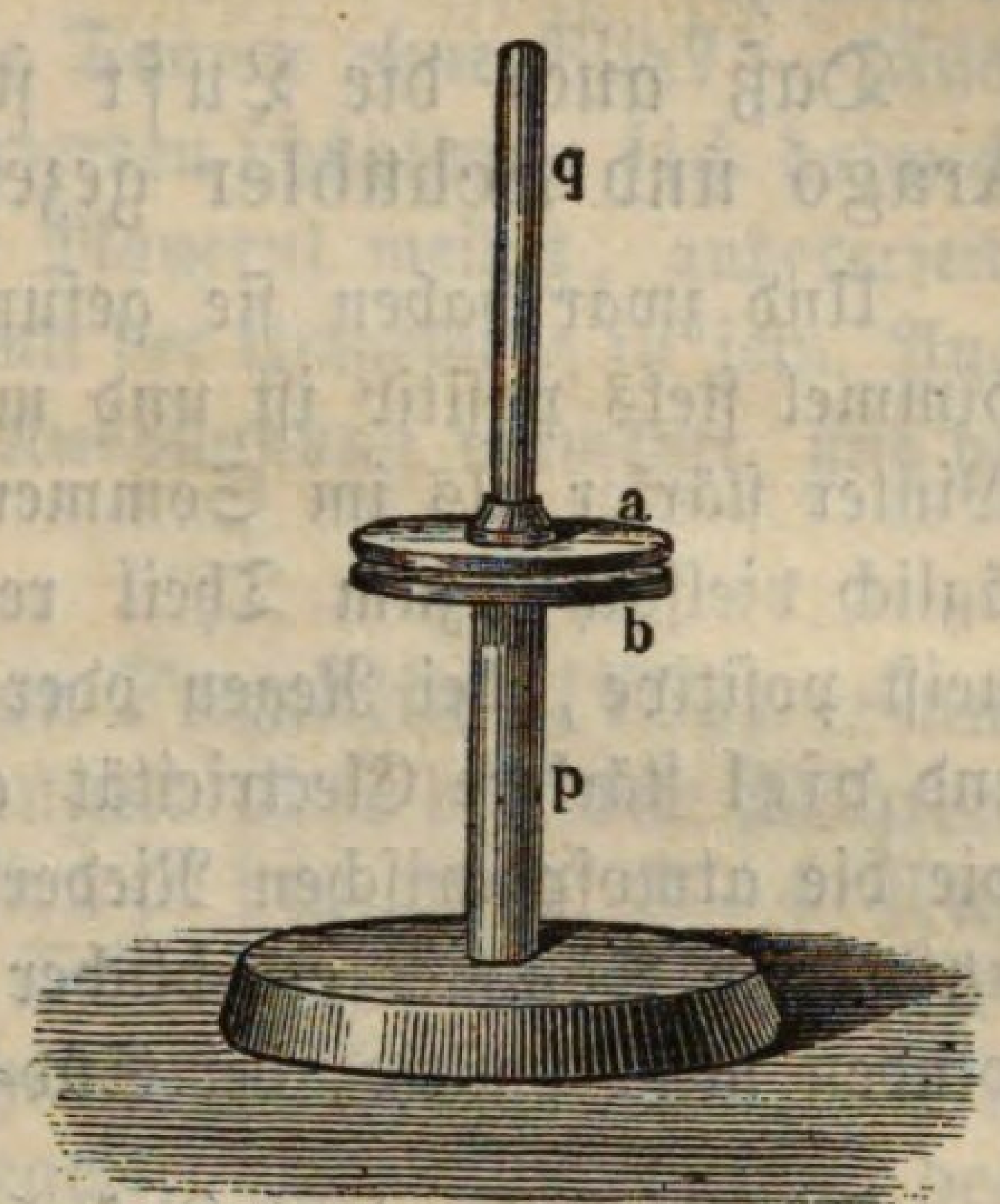
Eine Combination von Leidner Flaschen in der Art, daß alle inneren Belegungen, und eben so alle äußeren mit einander leitend verbunden sind, heißt eine electrische Batterie.

Die Wirkungen des electrischen Funkens bei Entladung einer Verstärkungsflasche sind eben so mannigfaltig als die des einfachen Funkens einer Electrisir-Maschine und bedeutend kräftiger.

Durchbohrung von Kartenblättern und Glasplatten, Zertrümmerung von Glasröhren, die mit Wasser gefüllt sind. — Art des Funkens. — Entzündung von Schießpulver, Verbrennung von Eisendraht; Tödtung kleiner Thiere durch Ueberreizung der Nerven, Lähmung der Muskeln. Magnetische Wirkungen.

Als Belegung nimmt man in der Regel Zinnfolie (Stanniol). Ist die Franklin'sche Tafel oder die Leydner Flasche zerlegbar, so kann man nachweisen, daß auch das Glas an seiner Oberfläche, vielleicht sogar in seiner obersten Schicht, Electricität aufgenommen hat.

Fig. 144.



§ 165. Um geringfügige Spuren von Electricität so weit zu verstärken, daß sie wahrnehmbar werden, dient der von Volta 1782 erfundene Condensator. Derselbe besteht aus dem Deckel a (Fig. 144) oder Collector, einer Scheibe von Messing oder vergoldetem Spiegelglase, und der Basis b, einer Messingscheibe von demselben Durchmesser, welche auf einem verticalen Glasstabe p horizontal ruht, und auf welcher der ebenfalls mit einem isolirenden Glasstabe q versehene Deckel liegt. Beide Scheiben sind an der Berührungsfläche mit einer isolirenden Firnißschicht überzogen.

Die Theorie des Condensators ist völlig identisch mit der der electrischen Tafel.

Theilt man dem Collector Electricität mit, so ruft dieselbe in der Basis durch Vertheilung Electricität hervor; sie zieht die entgegengesetzte an und stößt die gleichnamige ab, welche durch Berührung mit der Hand nach der Erde zu abgeleitet wird u. s. w. Auf diese Weise „sammelt" man in der Basis die entgegengesetzte Electricität, welche nach Aufhebung des Collectors sich gleichmäßig in der Basis verbreitet.

In der Regel wird die Basis an einem Electrometer (statt des Knopfes) angeschraubt. Dann hat man die Wahl, je nachdem man dem Collector oder der Basis Electricität mittheilt (und die gleichnamige in der Basis oder im Collector ableitet), die Electrometer-Blättchen mit der entgegengesetzten oder mit der gleichnamigen Electricität divergiren zu machen.

Mittelst des Condensators weist man nach, daß ein seidnes Tuch, in trockner Luft geschwenkt, electrisch wird, daß pulverisirte Mennige (Bleiüberoxydul) beim Fallen durch trockne Luft positive, gepulverter Schwefel negative Electricität annimmt, daß sehr viele Körper (besonders Kalkspath, Glimmer, Gyps, Flußspath u. s. w.) durch Druck electrisch werden (Hauy, Libes, Becquerel u. A.),

daß endlich der Turmalin beim Erwärmen und beim Erkalten eigenthümliche electrische Zustände zeigt.

Aehnliches gilt von andern Krystallen (z. B. Glimmer, Topas rc.), welche außerdem beim Abblättern und Spalten electrisch werden.

§ 166. Die Aehnlichkeit zwischen den Wirkungen des electrischen Funkens und denen des Blitzes führte schon Franklin zu der Vermuthung, daß das Gewitter electrischen Ursprungs sei. In der That gelang es ihm auch (1752) mittelst eines an einer leitenden Schnur befestigten Drachens die Electricität der Wolken nachzuweisen (de Romas).

Daß auch die Luft stets electrisch ist, haben Volta, Saussure, Arago und Schübler gezeigt.

Und zwar haben sie gefunden, daß die Electricität derselben bei heiterm Himmel stets positiv ist und mit der Höhe zunimmt, daß sie im Allgemeinen im Winter stärker als im Sommer, auf Ebenen stärker als zwischen Bergen ist und täglich vielfach, zum Theil regelmäßig, variirt. Beim Nebel beobachtet man meist positive, bei Regen oder Schneegestöber abwechselnd positive und negative, und viel stärkere Electricität als bei heiterm Wetter. Auch die Wolken sind, wie die atmosphärischen Niederschläge, bald positiv, bald negativ electrisch, und letztere im Sommer erheblicher als im Winter, und zwar bei Nord- und Ostwinden mehr positiv, bei Süd- und Westwinden mehr negativ.

Die Ursache der Luftelectricität kennt man noch nicht. Nach Lamont's (und Peltier's) Ansicht ist die Erde die Quelle derselben, vielleicht unter Mitwirkung der Verdunstung und der Condensation gebildeter Dünste, des Lebensprocesses der Pflanzen und der Reibung der erwärmten aufsteigenden Luftkügelchen an den andern.

Apparate um die vorstehenden Angaben nachzuweisen sind: isolirte eiserne Stangen, welche mit einem Electrometer leitend verbunden sind, oder hölzerne Stangen mit einer metallnen Spitze, welche durch einen Draht mit dem Electrometer in Verbindung steht, oder Pfeile, welche durch einen Goldlahnfaden mit dem Electroskop leitend verbunden abgeschossen werden u. s. w.

§ 167. Auf der Luft-Electricität beruhen die electrischen Meteore (Vorgänge in der Höhe der Atmosphäre), nämlich 1) die Wetterlichter (das St. Elmsfeuer, Castor und Pollux rc.), Flämmchen, welche zur Zeit eines Gewitters sich an den Spitzen der Schiffsmasten, Thurmkreuze u. s. w. zeigen, durch Influenz hervorgerufen,

2) das Wetterleuchten, entweder der Reflex eines sich unterhalb des Horizontes (Abends, im Westen oder Südwesten, also auf der Tagseite) sich entladenden Gewitters, oder das ruhige Ausströmen der Electricität aus einer Wolke in eine andere,

3) das Gewitter, die plötzliche Ausgleichung entgegengesetzter Electricitäten zwischen Wolke und Erde oder Wolke und Wolke.

Die Vorgänge in der Atmosphäre vor und bei Anfang eines Gewitters sind bekannt, eben so die äußere Erscheinung des Blitzes und seine Wirkungen, welche in Durchbrechung und Zertrümmerung schlecht leitender Körper, in Schmelzung oder Verflüchtigung von Metallen, Verglasung von Sand und Quarz (Blitzröhren), Entzündung leicht entzündlicher Körper und in Lähmung und Tödtung von Menschen und Thieren bestehn.

Der Donner ist die Folge der heftigen Erschütterung der Luft bei ihrer Durchbrechung durch den Blitz. Der entstehende Schall wird durch die Erde, Luft und Wolken mit verschiedener Geschwindigkeit und aus sehr verschiedener Entfernung dem Ohr zugeführt. Daher das Rollen des Donners.

Wie erklärt man Blitze ohne Donner? — wie Donner ohne Blitz? — Rückschlag. Gegen die Gefahr vom Blitz getroffen zu werden schützt man sich dadurch, daß man die Nähe guter Leiter (Bäume, feuchter Mauern) meidet, andererseits aber, im freien Felde, sich hütet der höchste Punkt der Umgebung zu sein. Auch ist heftige Bewegung zu widerrathen, da sie die Ausdünstung vermehrt und die Luft leitend macht.

Die Gebäude schützt man durch die von Franklin (1752) erfundenen Blitzableiter, nämlich eiserne Stangen oder bleierne Röhren, welche das Gebäude, das sie schützen sollen, um etwa 3—4 Fuß überragen und an demselben in feuchte Erde, welche mit größeren Wassermassen in Verbindung steht, hinabgeführt werden. Die Spitze des Blitzableiters wird in der Regel, zur Verhütung des Rostens, vergoldet oder mit einer Platinnadel versehen, der ganze Blitzableiter aber mit allen in der Nähe befindlichen Metallmassen in leitende Verbindung gebracht.

Die Gewitter werden nicht selten von Hagel, dessen Entstehung noch nicht hinreichend erklärt ist (Volta, v. Buch und Mohr), und von eigenthümlichen Wirbelwinden begleitet, welche man Tromben nennt (Erdtromben oder Windhosen, Wasserhosen).

2) Contact-Electricität und Galvanismus.

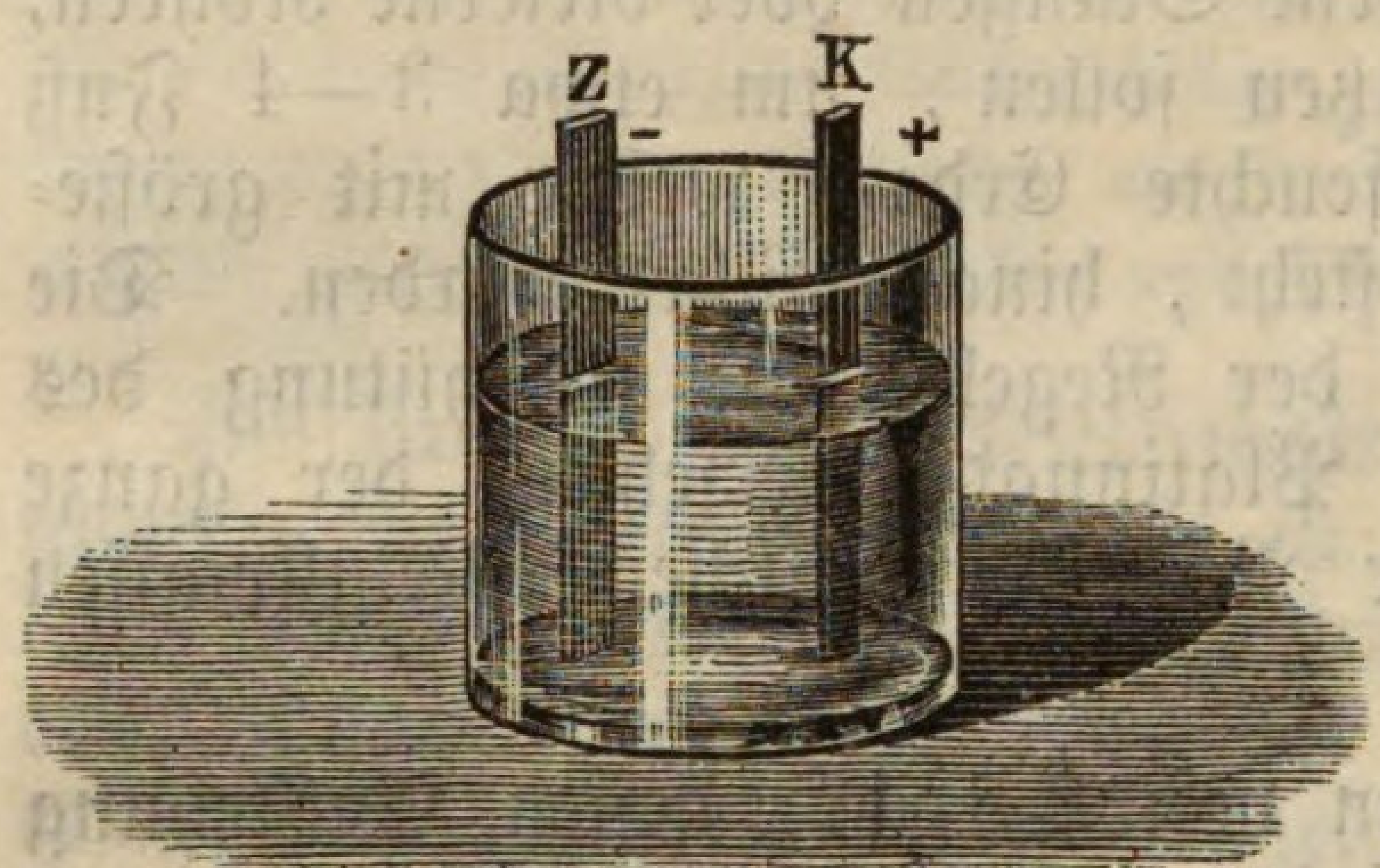
§ 168. Die Contact-Electricität (Volta'sche E.) entsteht durch Berührung zweier differenter Metalle und läßt sich mittelst des Condensators nachweisen. Zugleich zeigt sich, daß das leichter oxydirbare Metall positiv, das andere negativ electrisch wird. (Volta'sches Element oder Plattenpaar.)

Darnach kann man Metalle und ihnen verwandte Körper in eine „electrische Spannungsreihe" zusammenstellen, in welcher jeder frühere Körper gegen den folgenden positiv und um so stärker electrisch wird, je weiter sie in der Reihe von einander entfernt sind, nämlich: Zink, Zinn, Blei, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle, Braunstein.

Flüssigkeiten lassen sich in diese Reihe nicht einfügen. Eine Zinkplatte nämlich, welche in reines oder angesäuertes Wasser zum Theil eingetaucht wird, zeigt sich am hervorragenden Ende negativ electrisch; das Wasser würde also den Anfang der Spannungsreihe bilden und seine electrische Differenz gegen Kupfer, Silber und Platin bedeutender sein müssen als gegen Zink, was nicht der Fall ist; Platin wird sogar, in Wasser getaucht, positiv electrisch. Doch zeigt sich auch bei der Einwirkung der Flüssigkeiten auf Metalle ein Gesetz: Es wird nämlich ein in eine Flüssigkeit eingesenktes Metall um so stärker negativ electrisch, je mehr es bei Berührung mit andern Metallen positiv electrisch wird. (Pfaff.)

§ 169. Werden 2 differente Metalle in eine Flüssigkeit zum Theil eingetaucht, so wird das mehr oxydirbare, dem Anfang der Spannungsreihe näher stehende negativ electrisch, das andere positiv. Wie läßt sich dieß erklären?

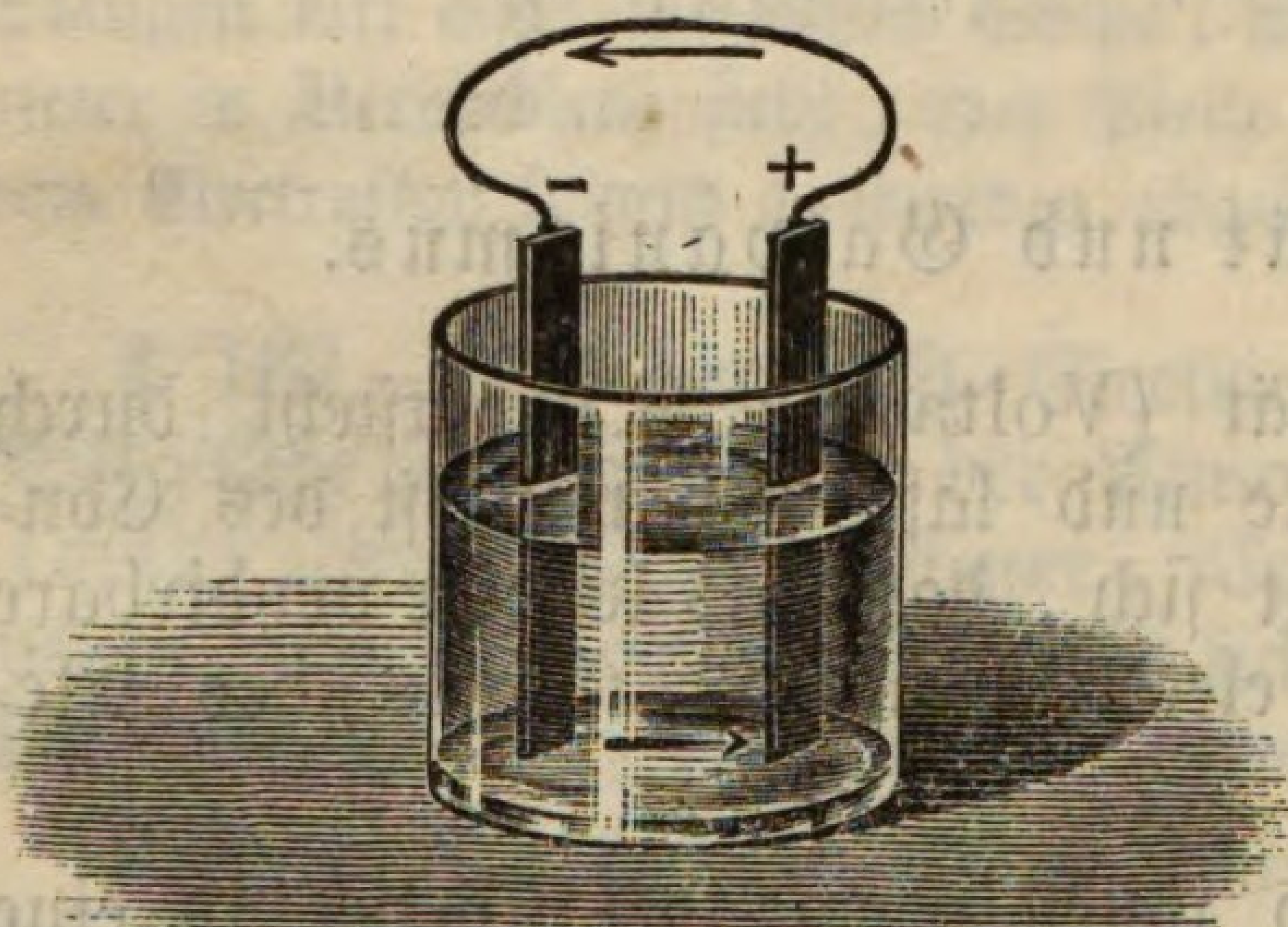
Fig. 145.



Eine solche Berührung zweier differenten Metalle mittelst einer Flüssigkeit (Fig. 145) ist die wesentliche Bedingung einer Galvani'schen oder Volta'schen Kette, und zwar einer offnen, wenn die Metalle sich nicht noch unmittelbar berühren, sonst einer geschlossenen Kette (Fig. 146).

Bei der letzteren wird die „statische" Electricität der offnen Kette zum electrischen oder galvanischen Strome.

Fig. 146.



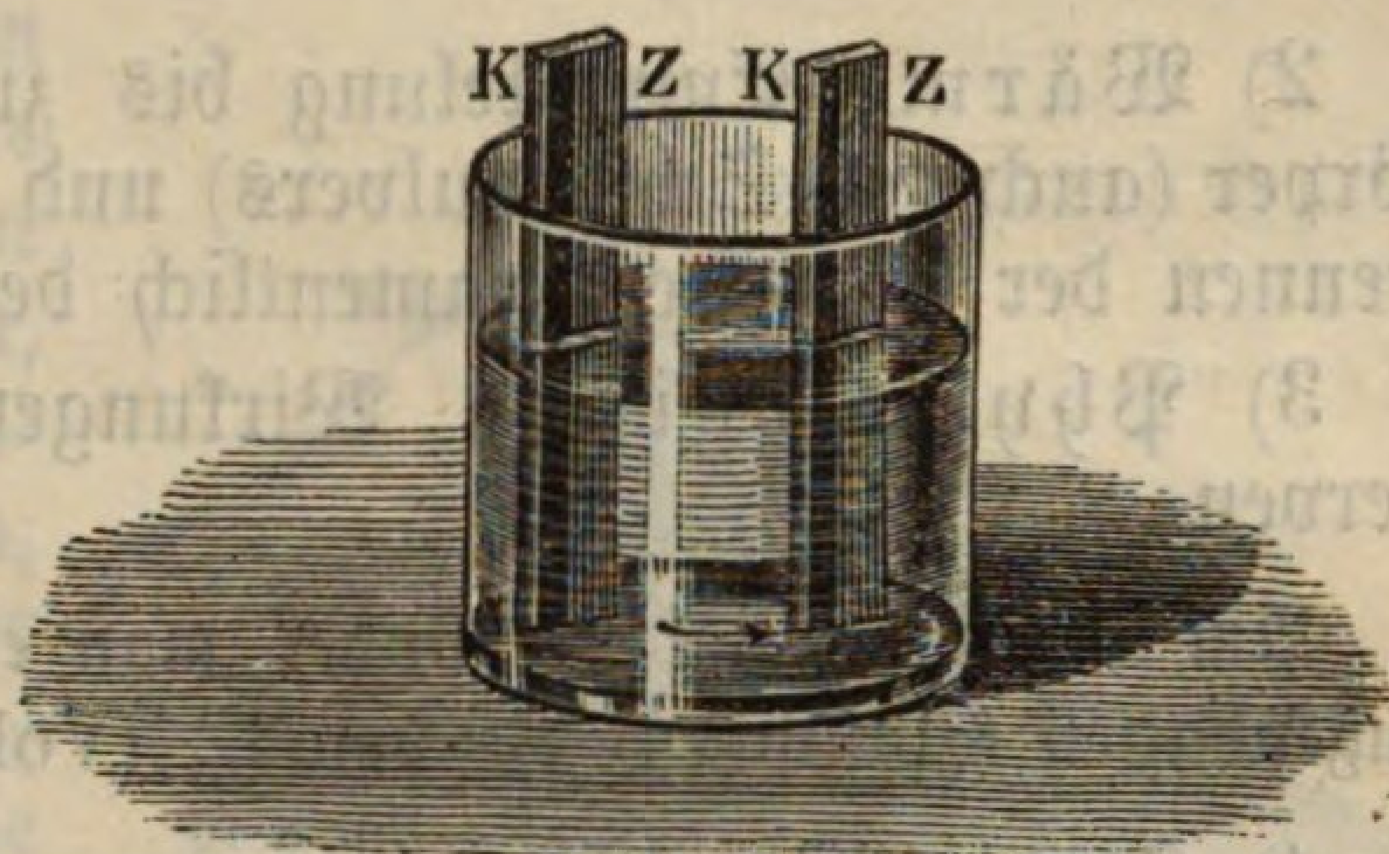
Und zwar bewegt sich die positive Electricität in der Flüssigkeit vom Zink in der Richtung des Pfeils zum Kupfer und von da im Schließungsdraht, wie bei Berührung der Metalle im Volta'schen Fundamental-Versuch, zum Zink — und die negative in entgegengesetzter Richtung. Unter electrischem Strom versteht man immer die positive Strömung.

(Aloisio oder Luigi Galvani, Professor der Anatomie zu Bologna (1789) und Alessandro Volta, zu Como geboren, Professor der Physik zu Pavia, † 1827 zu Como. — Geschichte der Entdeckung des Galvanismus.)

Der einfachste Apparat dieser Art, welcher schon physiologische Wirkungen (auf den Geschmack und Gesichtssinn) und Zersetzung von Wasser und Kupfervitriol hervorbringt, besteht in einem Zink- und einem Kupferstäbchen, welche sich mit einander unmittelbar und mittelst sehr verdünnter Schwefelsäure oder Kupfervitriol-Lösung oder der Flüssigkeiten im menschlichen Körper berühren.

Nach Volta's Vorgang, welcher als Ursache der galvanischen Erregung den Contact der Metalle ansah und die Flüssigkeit nur als Leiter auffaßte, nennt man die Metalle Erreger (Electromotoren) erster Klasse, wie sie denn auch Leiter erster Klasse sind, und die Flüssigkeiten Erreger und Leiter zweiter Klasse.

Fig. 147.



Will man die Uebereinstimmung der Volta'schen Theorie mit derjenigen, welche die chemische Wechselwirkung zwischen Metall und Flüssigkeit als Hauptagens betrachtet, auch für die offene Kette nachweisen, so braucht man nur, wie in Fig. 147 geschehn, an die Zinkplatte nach außen hin eine Kupferplatte und an die Kupferplatte (in Fig. 145) eine Zinkplatte anzulöthen. Dadurch wird der Effect der Kette nicht geändert, und die Richtung des Pfeils giebt die Strömung der Electricität in den Metallen an.

Eine solche Combination von Metallen und Flüssigkeit ist schon ein Anfang der Volta'schen Säule oder zusammengesetzten Kette, welche von Volta aus (Volta'schen) Elementen und dazwischen eingeschalteten feuchten (f) Leitern (zk—f—zk—f—zk etc.) aufgebaut wurde, jetzt aber immer aus einfachen Ketten die unmittelbar an einander gelöthet werden (kfz, kfz, kfz u. s. w.) construirt wird. Aus der 1sten Art die Säule aufzubauen ergiebt sich die 2te, wenn man die beiden — überflüssigen — Endplatten hinwegläßt: die Wirksamkeit der Säule wird dadurch nicht geändert.

Die Endplatten nennt man die Pole und unterscheidet sie in Zinkpol und Kupferpol. Diese Benennung ist — weshalb? — nicht gut; besser ist es die Pole als positiv und negativ zu bezeichnen, je nachdem an ihnen sich positive oder negative Electricität zeigt.

Im folgenden § wird sich ergeben, daß man Grund hat den positiven Pol auch Sauerstoffpol und den negativen Wasserstoffpol zu nennen.

Auch die Volta'sche Säule ist in die offene und geschlossene zu unterscheiden.

Die offene Säule zeigt nur Erscheinungen der Anziehung und Abstoßung. Die electrische Spannung ist sehr gering und wächst mit der Zahl der Platten.

Ist die Säule isolirt, so hat sie in der Mitte einen Indifferenzpunkt (eine Stelle ohne Electricitä), von welchem aus die Spannung nach beiden Polen zu in arithmetischer Reihe wächst. Ist dagegen der eine Pol mit der Erde leitend verbunden, so hat er natürlich keine Electricität, der andere aber eine noch einmal so große als vorher.

§ 170. Die geschlossene Kette zeigt

1) Lichterscheinungen im Moment der Schließung und der Oeffnung der Kette.

Die schönsten Funken erhält man, wenn man die (von den Polen ausgehenden) Poldrähte mit Kohlenspitzen versieht oder in Quecksilber senkt. (Galvanischer Fammenbogen.)

2) Wärme-Entwickelung bis zur Entzündung leicht entzündlicher Körper (auch des Schießpulvers) und zum Glühn, Schmelzen und Verbrennen der Metalle, namentlich der schlechter leitenden.

3) Physiologische Wirkungen, Affection aller Arten von Nerven.

Am positiven Pol empfindet man einen säuerlichen, am negativen einen laugenhaften (alkalischen) Geschmack. (Volta, Aldini, Ure).

4) Chemische Wirkungen, zunächst die Zersetzung des Wassers in seine beiden Bestandtheile, Sauerstoffgas und Wasserstoffgas.

Dieß geschieht, wenn man die beiden Poldrähte in Wasser taucht, welches durch Beimengung von etwas Säure leitend gemacht ist. Der Sauerstoff geht nach dem positiven Poldraht, der Wasserstoff nach dem negativen. Daher die Benennung der Pole.

Außerdem werden noch zersetzt die Alkalien (Kali, Natron, Lithion) und die alkalischen Erden (Kalkerde, Baryterde u. s. w.), so daß der Sauerstoff sich wiederum am positiven Pole, das Metall (Kalium, Natrium, Calcium u. s. w.) an dem negativen ausscheidet; ferner die Verbindungen der Metalle mit Chlor (oder Jod, Brom), welches am positiven Pole erscheint; endlich die Auflösungen der Salze, d. h. der Verbindungen von Säure und Basis (Metalloxyd). Enthält die Basis ein leicht oxydirbares Metall (Kalium, Natrium), so trennt sie sich einfach von der Säure, welche nach dem positiven Pole hingeht; sonst trennt sich in der Basis noch der Sauerstoff vom Metall (z. B. Kupfer) und geht mit der Säure zum positiven Pol, das Metall zum negativen.

Hierauf beruht die Galvanoplastik (Jacobi), die galvanische Vergoldung, Versilberung u. s. w. und die Färbung von Veilchensyrup und Lackmußtinctur.

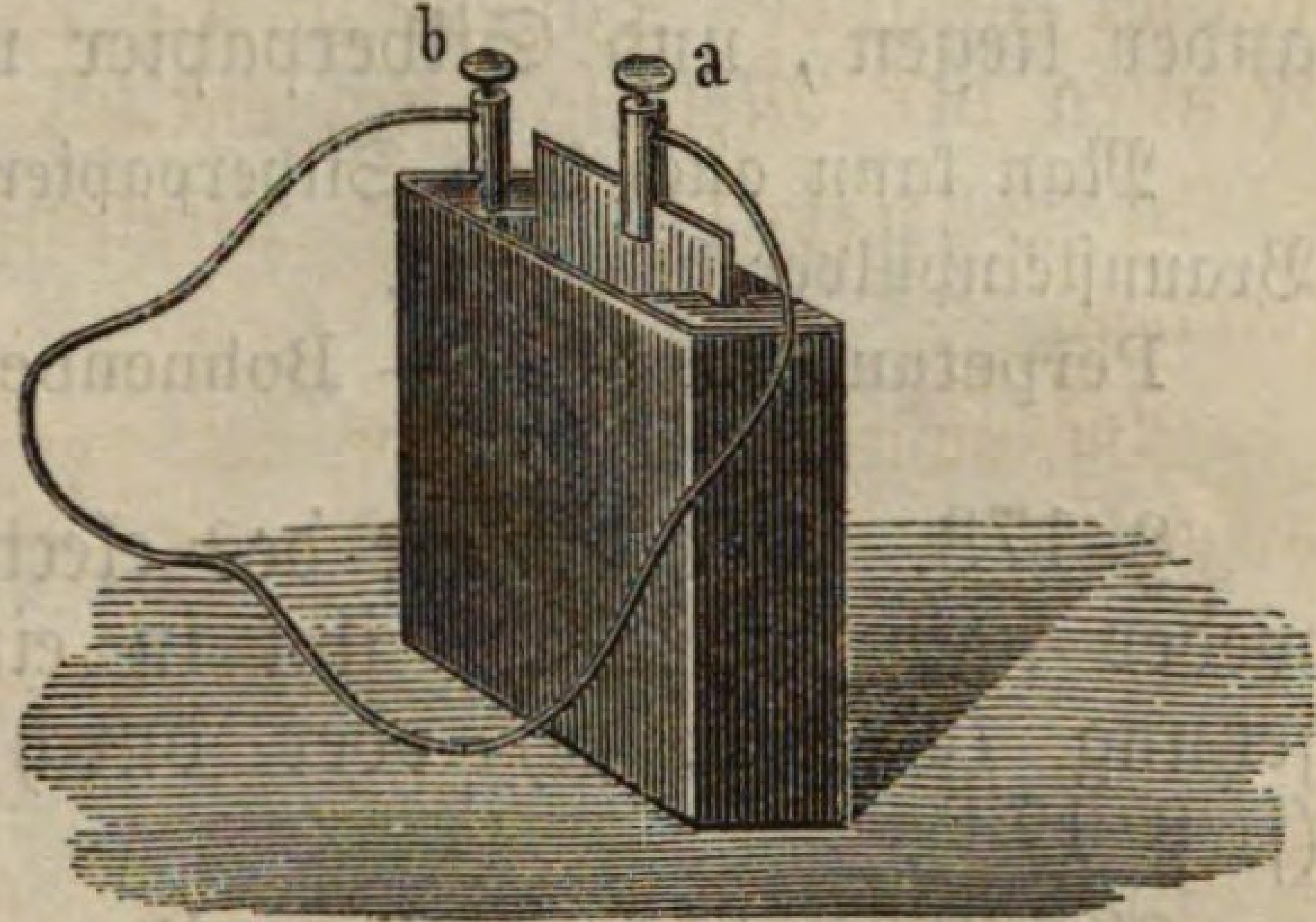
Alle Stoffe, welche sich galvanisch zersetzen lassen, nennt Faraday Electrolyten, ihre sich trennenden Bestandtheile Jonen, die Poldrähte Electroden

(Electricitäts-Wege), die vom positiven Pol ausgehende die **Anode**, die andere die **Kathode**, das am positiven Pol sich ausscheidende Jon das **Anion**, das andere das **Kation**.

5) Die **magnetischen** Wirkungen, von denen in § 174—177 ausführlicher die Rede sein wird.

§ 171. Die ursprüngliche Säulenform hat Volta selbst (aus welchen Gründen?) aufgegeben und die Platten mit den eingeschalteten feuchten Tuchscheiben vertical zwischen horizontalen Glasstäben an einander gedrückt, oder auch **Becherapparate** (wie Fig. 145) so combinirt, daß immer die Zinkplatte des einen mit der Kupferplatte des andern zusammengelöthet war, mit Ausnahme der Endplatten (Pole).

Fig. 148.



Größere Platten wurden von Oersted angewendet, welcher eine Zinkplatte isolirt in einen kupfernen Trog stellte, wie Fig. 148 angiebt, und letzteren mit verdünnter Schwefelsäure füllte, und von Wollaston, welcher — um die Wirkung der Kette zu erhöhen — der Kupferplatte doppelt so viel Oberfläche gab als der Zinkplatte.

Will man sehr große Platten anwenden, so windet man beide Platten spiralförmig und stellt die eine innerhalb der andern, von ihr isolirt, in einen kupfernen Trog (Hare's Calorimotor), oder man zerlegt jede derselben in mehrere Theile, welche durch kupferne Bügel, die man in ein Gefäß mit Quecksilber senkt, zu einer einzigen Platte verbunden werden.

Alle diese einfachen Ketten (oder **galvanischen Elemente**) geben keine anhaltend kräftige Wirkung, weil die leitende Flüssigkeit sich zersetzt (Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff, und die Schwefelsäure in Schwefel und Sauerstoff), so daß die Kupferplatte sich mit Wasserstoff, Schwefel, Stickstoff — je nach der leitenden Flüssigkeit — überzieht. Diesem Uebelstande helfen die **constanten Ketten** ab, welche aus 2 differenten Metallen und 2 Flüssigkeiten bestehen, die mit einander durch Endosmose communiciren. Die älteste derselben ist die Daniell'sche (Becquerel'sche oder auch Jacobi'sche) Kette. Sie besteht aus Zink, welches sich in verdünnter Schwefelsäure (oder auch Salmiaklösung) befindet, und Kupfer in Kupfervitriol-Auflösung. Man trennt die Flüssigkeiten durch Thierblase. Die Grove'sche Kette hat statt des Kupfers Platin, welches in Salpetersäure getaucht ist und in einen porösen Thoncylinder gesenkt wird. Die Bunsen'sche Kette hat statt des Platins die billigere Kohle. Statt der Salpetersäure kann man Pikrinsäure nehmen.

Wöhler wählte statt des Platins Eisen, welches in concentrirter Salpetersäure nicht angegriffen wird. Man nennt solches Eisen passives Eisen.

Auch aus passivem und activem Eisen (welches an die Stelle des Zinks tritt und in verdünnter Schwefelsäure lebhaft oxydirt wird), läßt sich eine Kette herstellen, so wie andrerseits aus Platin und zwei differenten Flüssigkeiten (Kalilauge und Salpetersäure) eine Kette gebildet werden kann. (Becquerel's Kette.)

Wie läßt sich die Unschädlichkeit der Zersetzung des flüssigen Leiters in constanten Ketten erklären?

§ 172. Um eine Jahre lang — allerdings schwach — wirkende Säule zu erhalten, muß man statt der Flüssigkeit einen Halbleiter (z. B. Papier) nehmen. Solcher Art ist die trockne oder Zamboni'sche Säule, welche aus Scheiben von unechtem Blattgold und Blattsilber besteht. Man schichtet diese Scheiben aus Silberpapier (Zink) und Goldpapier (Kupfer) so über einander, daß die Papierflächen an einander liegen, und Silberpapier und Goldpapier abwechseln.

Man kann auch bloß Silberpapier nehmen, welches auf der Papierseite mit Braunsteinpulver bedeckt ist.

Perpetuum mobile. — Bohnenberger's Electroskop (cf. § 161.)

§ 173. Die Stärke des electrischen Stromes bestimmt man entweder nach der durch ihn in einer Zeiteinheit bewirkten Wasserzersetzung (Voltameter) oder durch die Ablenkung der Magnetnadel (s. § 174).

Auf theoretischem Wege ist von G. S. Ohm in Erlangen im Jahre 1827 gefunden und zum Theil von ihm selbst, gründlicher aber von Fechner und später von Pouillet experimentell bestätigt worden, daß

die Stromesstärke (S) der electromotorischen Kraft (E) direct und dem Widerstande (W) umgekehrt proportionirt ist. $S = \frac{E}{W}$.

Der Widerstand, welcher sich dem Strome entgegen stellt, ist die Summe des Widerstandes in der Flüssigkeit der Kette (w) und des Widerstandes im Schließungsbogen ($w_{,}$).

Der Widerstand in einem Metalldraht ist um so größer, je geringer die Leitungsfähigkeit des Metalls ist (am größten im Platin und Eisen, am geringsten im Silber und Kupfer), und seiner Länge direct, seinem Querschnitt indirect proportionirt. Dasselbe gilt für Flüssigkeiten. (Rheometer, Rheostate.)

Besteht der Schließungsbogen aus Drähten und Flüssigkeiten, so tritt zu den von ihnen herrührenden Widerständen noch der „Uebergangs-Widerstand".

Die electromotorische Kraft, zunächst von der electrischen Differenz der Metalle und der Wirkung der Flüssigkeit auf sie abhängend, richtet sich nach der Zahl und der Größe der Platten.

Bezeichnet man nämlich die electromotorische Kraft in einer Kette mit e, so ist die durch sie hervorgerufene Stromeskraft $= \frac{e}{w + w_{,}}$, in n eben solchen Ketten (ceteris paribus) demnach $S = \frac{ne}{nw + w_{,}}$. Ist also $w_{,}$ so gering, daß es vernachlässigt werden kann, so wirkt die Säule nicht erheblich mehr als die einfache Kette.

Ist dagegen $w_{,}$ so groß, daß nw neben $w_{,}$ verschwindet, so steigt die Stromesstärke fast im Verhältniß zu der Zahl der Ketten.

Wählt man Platten von n mal größerer Oberfläche, so wird der Leitungswiderstand w auf den nten Theil herabgesetzt, und es ist die Stromeskraft für eine Kette $= \frac{e}{\frac{1}{n} w + w_{,}}$ oder $\frac{en}{w + nw_{,}}$.

Ist nun w im Vergleich zu $nw_{,}$ geringfügig, so ist die Wirkung der Säule nicht merklich von der der Kette verschieden; ist dagegen $w_{,}$ sehr klein, dann wächst die Wirkung der Säule im Verhältniß zu der Zahl ihrer Ketten.

Welche Folgerungen ergeben sich hieraus für Anwendung von Ketten oder Säulen, je nach der Art der Wirkung, die man beabsichtigt?

Electromagnetismus.

§ 174. Im Jahre 1820 entdeckte Oersted in Kopenhagen, daß eine Magnetnadel, neben (über oder unter) welcher der galvanische Strom eines Schließungsdrahtes sich bewegt, durch ihn abgelenkt wird.

Für die Richtung der Ablenkung fand Ampère folgendes Gesetz:

Denkt man sich im Schließungsdraht in der Richtung des Stromes (d. h.?) liegend, mit dem Gesicht nach der Nadel, so weicht ihr Nordpol stets nach links ab.

Ohne den Einfluß des tellurischen Magnetismus würde die Magnetnadel sich senkrecht auf den Strom einstellen, weil der Schließungsdraht zu einem Transversal-Magnet wird; in der That nimmt eine astatische Doppelnadel diese Stellung an.

Die Ablenkung einer Declinationsnadel wird sehr gesteigert, wenn man den Schließungsdraht mehrmals über und unter ihr in isolirten Windungen herumführt, weil die Wirkungen sich (nach Ampère's Regel) unterstützen, also summiren müssen. Ein so gewundner Draht heißt ein (Schweigger'scher) Multiplicator und in Verbindung mit der dazwischen eingeschalteten Magnetnadel ein Galvanometer.

So wie der Schließungsdraht selbst zu einem (transversalen) Magnet wird und Eisenfeile anzieht (Arago), so vermag er auch, in Form einer Schraubenlinie um einen Stab aus weichem Eisen isolirt ge-

wunden (Solenoïd), den Stab zu einem Magnet (Electromagnet) zu machen. Stahlstäbe — sowohl geradlinige als „Uförmige" — können auf diese Weise dauernd magnetisch gemacht werden. (Elias'sche Rolle.) Stäbe aus weichem Eisen erhalten nur einen vorübergehenden Magnetismus, der aber bei den Uförmigen außerordentlich stark werden kann — bis zu 160 Centnern Tragkraft. (Bunsen und Plücker.)

Die Polarität der Magnete ergiebt sich aus der Ampère'schen Regel, nämlich:

Ist der Draht rechts gewunden, so wird das Stab-Ende, wo der positive Strom eintritt, zu einem Südpol.

Um die Drähte mit Sicherheit zu isoliren überspinnt man sie mit Seide, und um ihnen Festigkeit zu geben wickelt man sie um eine Holzspule.

Schon im vorigen Paragraphen ist bemerkt worden, daß man die Ablenkung der Magnetnadel durch den electrischen Strom zur Messung seiner Stärke benutzt. Zu diesem Behufe muß man die Magnetnadel in den Mittelpunkt eines verticalen kupfernen Kreisrings stellen, welcher in der Ebene des magnetischen Meridians befindlich einen Theil des Schließungsbogens bildet, und dessen Durchmesser mindestens 8 mal so groß als die Nadel ist.

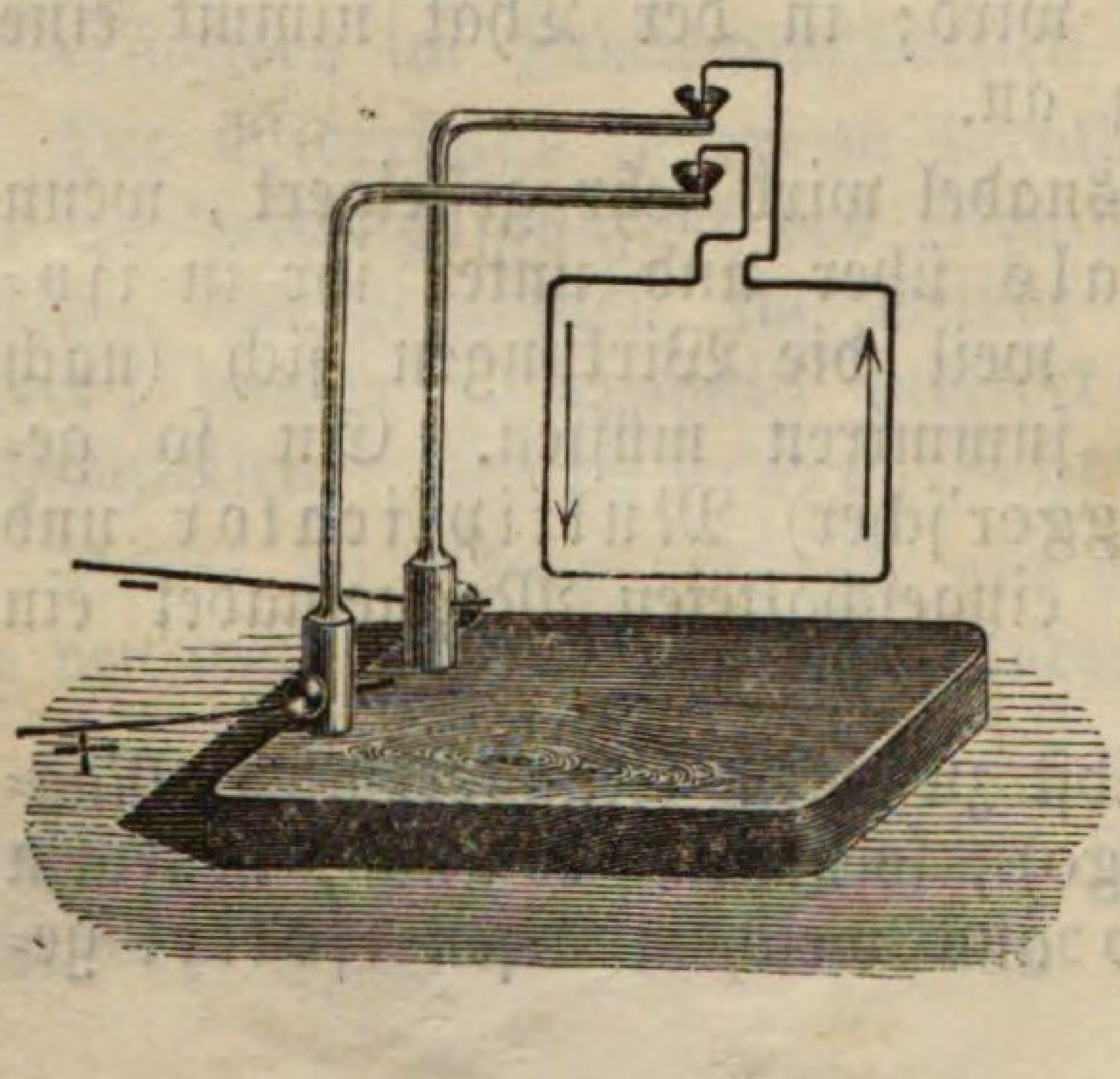
Dann ist die Wirkung des Stromes auf die Nadel constant (weshalb?) und der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. (Beweis?)

Deshalb heißt der Apparat eine Tangenten-Boussole.

(Verschiedene Abänderungen derselben.)

§ 175. Kehrt man den Versuch um, indem man den stromtragenden Schließungsdraht (Rheophor) beweglich einrichtet und den Magnet fest, so findet man, daß bewegliche Theile eines Schließungsdrahtes sich unter Einwirkung eines Magnets nach dem Ampère'schen Gesetz bewegen.

Fig. 149.



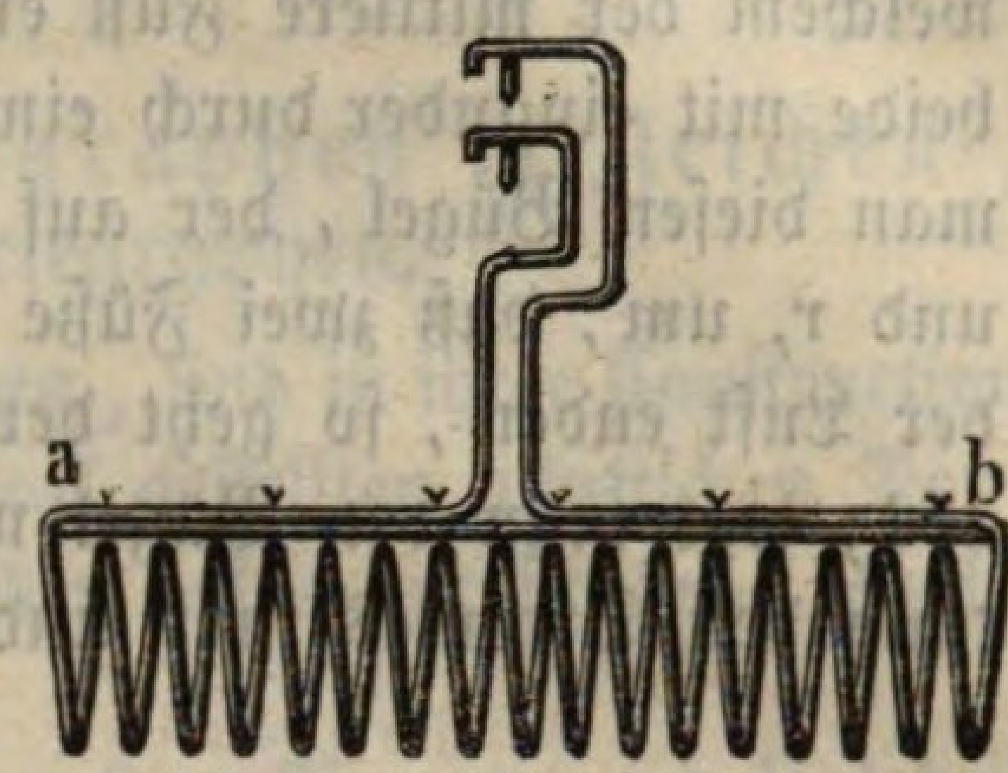
Unter Einfluß des tellurischen Magnetismus stellen sie sich senkrecht auf den magnetischen Meridian, ebenfalls nach der Ampère'schen Regel.

Um dieß nachzuweisen, ist ein „Ampère'sches Gestell oder Viereck" erforderlich, wie es Fig. 149 darstellt. Das Viereck kommt dann zur Ruhe, wenn die Seite, in welcher der positive Strom aufsteigt, nach Westen zu liegt.

Bei Anwendung der Ampère'schen Regel hat man nicht zu vergessen, daß

die Erde als ein Magnet anzusehn ist, dessen Südpol im hohen Norden der Erde liegt.

Fig. 150.



Statt des „Vierecks" kann natürlich auch ein Kreis genommen werden. Ein Solenoïd ist aber nichts als ein System von parallelen Kreisringen, muß sich also ebenfalls mit diesen Ringen senkrecht auf den Meridian, demnach mit seiner Längenaxe ab (Fig. 150) in die Richtung einer Declinationsnadel stellen, so daß die in den unteren Bogen fließenden Ströme von Ost nach West gehen. Ist das Solenoïd rechts gewunden, wie in Fig. 150, so muß b der Nordpol werden und den Nordpol irgend einer Magnetnadel abstoßen.

Hierin liegt der Grund zu der Ampère'schen Theorie des Magnetismus, nach welcher jeder Magnet als von einem electrischen Strom solenoïdisch umkreist zu denken ist. Der tellurische Magnetismus ist sonach auf electrische Ströme zurückzuführen, welche um die Erde von Osten nach Westen laufen. Dann liegt nämlich, der Ampère'schen Regel gemäß, der (am Südpol befindliche) magnetische Nordpol der Erde vom Strom aus links.

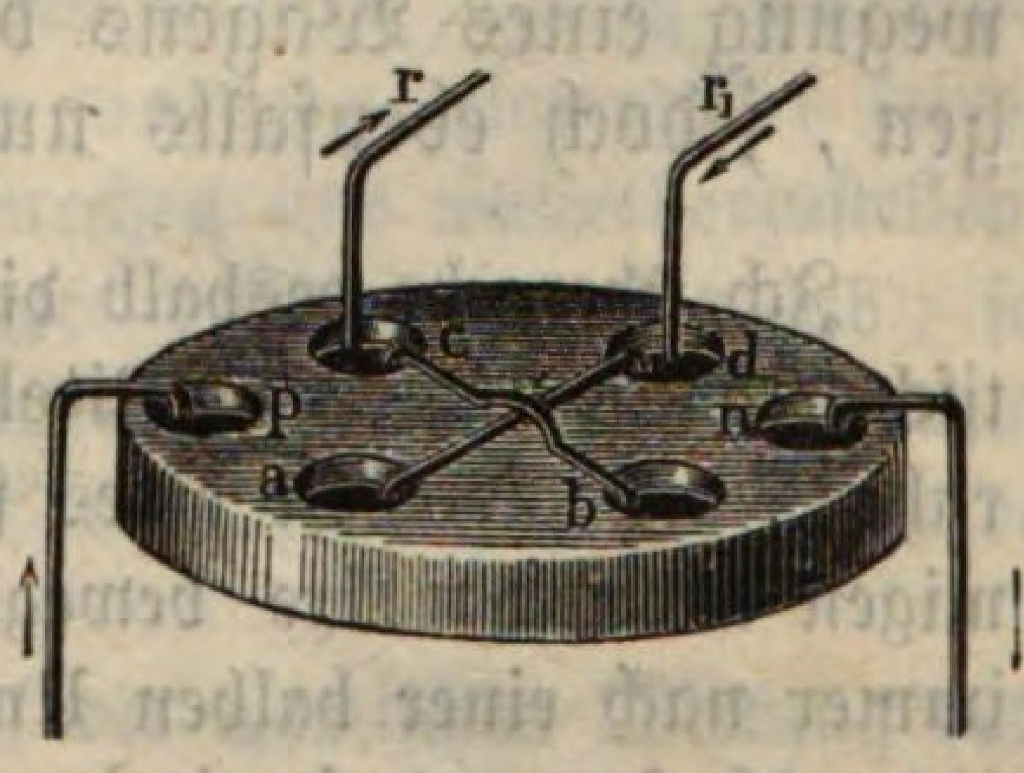
Parallele Ströme, welche gleich gerichtet sind, ziehen einander an; bei entgegengesetzter Richtung stoßen sie einander ab. Gekreuzte Ströme streben sich so parallel zu stellen, daß sie gleiche Richtung haben.

Auch Rotationsbewegungen kann man durch die gegenseitige Einwirkung von Magneten und beweglichen Theilen eines Schließungsdrahts hervorrufen, und zwar eine Bewegung des Schließungsdrahtes um den Magnet, des Magnets um den Schließungsdraht und des Magnets um seine Axe.

Die dazu nöthigen Apparate sind beim Experiment zu erklären (sonst zu übergehn) und die Rotationsrichtungen aus der Ampère'schen Regel abzuleiten.

Um die Richtung des Stromes bei allen vorerwähnten Versuchen mit Leichtigkeit zu ändern, dient der Gyrotrop oder Commutator.

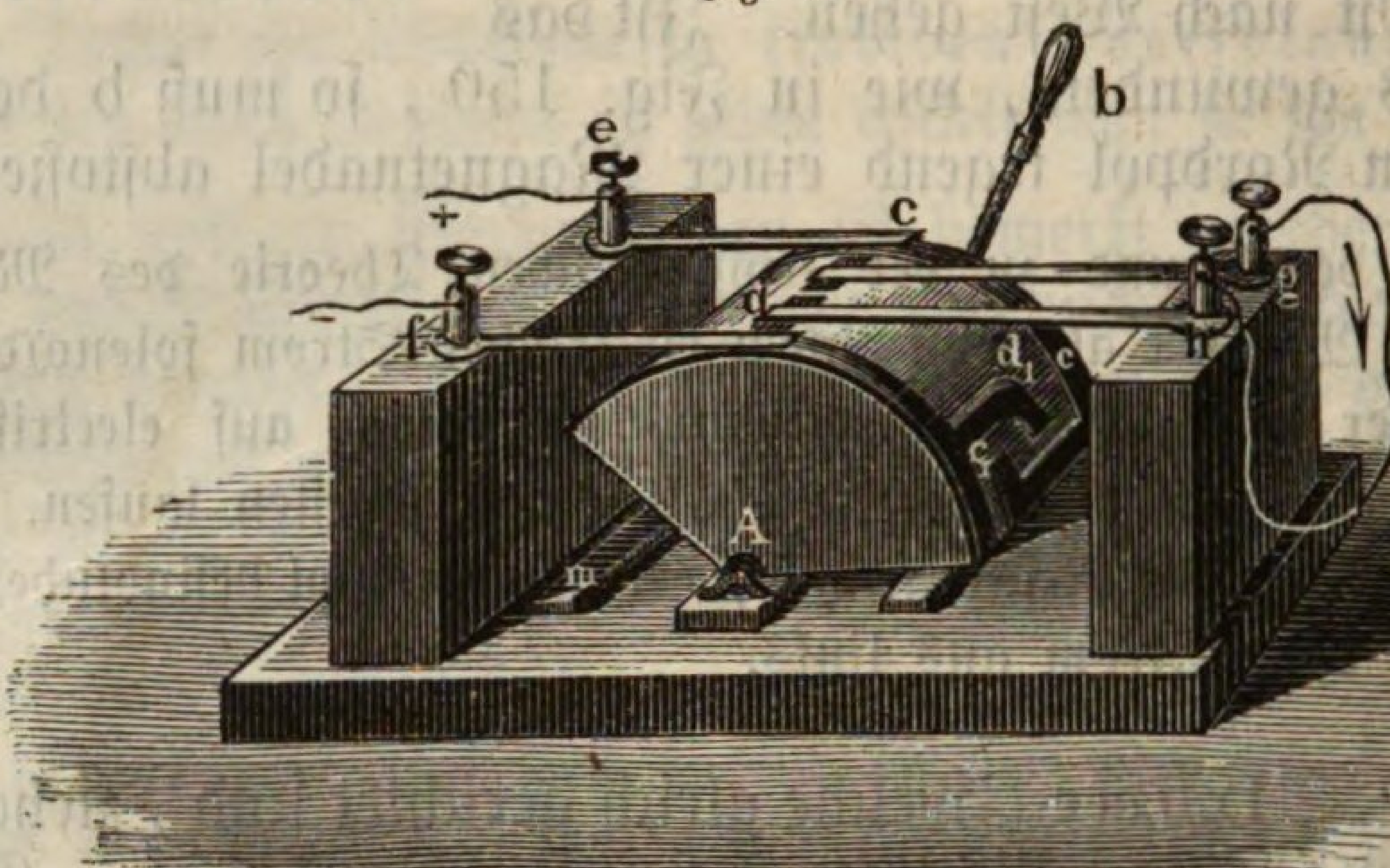
Fig. 151.



Einer der ältesten Apparate dieser Art ist der Pohl'sche Gyrotrop, welcher seiner großen Verständlichkeit wegen eine Beschreibung verdient. Er besteht nämlich aus einer dicken runden Holzscheibe mit den ein regelmäßiges Sechseck bildenden Vertiefungen für Quecksilber a, b, c, d, p und n (Fig. 151); a, b, c, d sind mit einander durch die zwei von einander isolirten Metalldrähte ad und bc verbunden. Nach p geht der positive, nach n der negative Poldraht einer Kette, während die

von c und d ausgehenden Rheophoren r und r, mit einem Galvanometer oder sonstigen Apparate in leitender Verbindung stehen. In die Quecksilbernäpfchen a, p, c wird eben so wie in b, n, d ein metallischer Dreifuß gestellt, in welchem der mittlere Fuß erheblich länger als jeder der beiden äußeren ist, und beide mit einander durch einen schweren isolirenden Glascylinder verbunden. Legt man diesen Bügel, der auf den mittleren Füßen ruht, in der Richtung nach r und r, um, daß zwei Füße in die Näpfchen c und d tauchen und die andern in der Luft enden, so geht der positive Strom in der Richtung der Pfeile in Fig. 151; legt man den Bügel nach entgegengesetzter Richtung, so kehrt sich die Richtung des Stromes in r und r, um.

Fig. 152.



Von den neueren Apparaten ist einer der einfachsten und verständlichsten der in Fig. 152 dargestellte, in welchem der positive Strom — bei der in der Figur angenommenen Stellung — von e durch das erste c nach g, h, d und f geht. Dreht man den Hebelarm b nach links, daß der andere Schenkel des Winkels A, und zwar auf m, aufliegt: so geht der Strom von e durch das 2te c nach c,, h, g, d,, d und f.

§ 176. Die ersten bedeutenderen Versuche zur Anwendung des Electromagnetismus auf Bewegung von Maschinen wurden im Jahre 1835 von Jacobi angestellt, welchem es 1839 gelang, durch Electromagnetismus ein Boot auf der Newa mit „einer Pferdekraft" zu bewegen.

Gleichzeitig bemühte sich Wagner in Frankfurt a. M., die Bewegung eines Wagens durch Electromagnetismus zu Stande zu bringen, jedoch ebenfalls nur mit geringem Erfolge.

Ich übergehe deshalb die Einrichtung dieser und der neueren electromagnetischen Maschinen (von Ritchie, Stöhrer, Page), welche sämmtlich darauf beruhen, daß die Pole eines sehr kräftigen Hufeisenmagnets die Pole eines Uförmigen um seine Axe beweglichen Electromagnetes, je nach der Richtung des immer nach einer halben Umdrehung commutirten Stromes abwechselnd anziehn und abstoßen und somit in rotirende Bewegung versetzen.

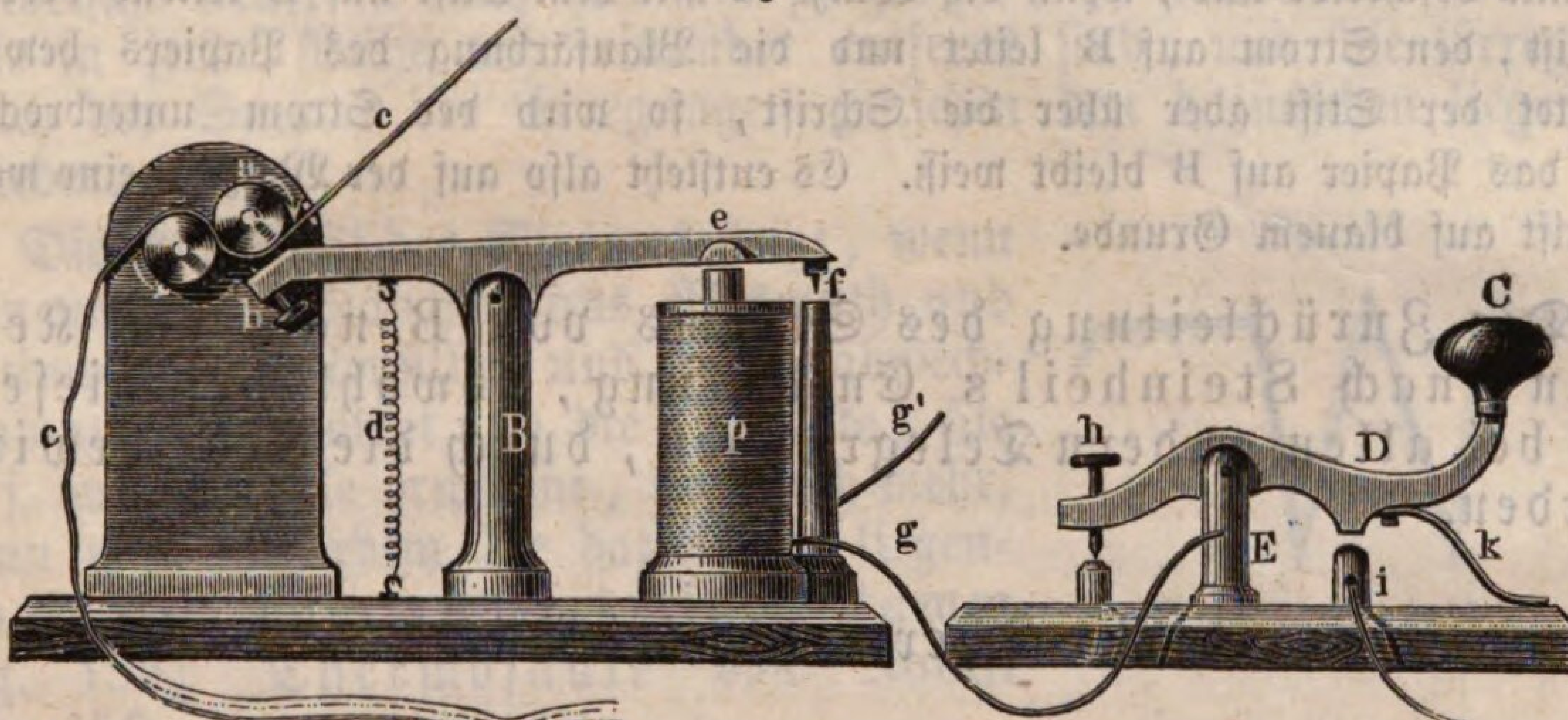
Die ungeheure Geschwindigkeit, mit welcher die Electricität sich bewegt (nach Wheatstone 62000 Meilen in 1 Sec.), ist Veranlassung zur electrischen Telegraphie geworden. (Gauss und Weber 1833, Steinheil, Wheatstone.)

Man unterscheidet die electrischen Telegraphen in Zeichen-, Zeiger-, Druck- oder Schreib- und Copir-Telegraphen.

Die ersten (frühesten), von Wheatstone erfunden, sind in ihrer Construction die einfachsten; sie bestehen nämlich aus einer vertical gestellten astatischen Doppelnadel, welche, je nachdem sie wiederholt links oder rechts ausschlägt, Buchstaben — oder auch Sätze — markirt.

Die — Zeiger- oder Buchstaben-Telegraphen (von Siemens und Halske) sind nicht viel bequemer und zuverlässiger, wohl aber

Fig. 153.



der Morse'sche Druck-Telegraph. Dieser besteht aus einem Electromagnet P (Fig. 153), welcher den aus weichem Eisen bestehenden Hammer (e) so lange anzieht, als der galvanische Strom durch ihn hindurch geht, und den am andern Arm des gleicharmigen Hebels be befindlichen Stift an die Walze a andrückt. Wird der Strom unterbrochen, hört also P auf ein Magnet zu sein, so zieht die Feder d den Hammer e von P und den Stift b von a ab. Die Walze a wird mit der neben ihr befindlichen durch ein Uhrwerk so bewegt, daß ein zwischen ihnen befindlicher Papierstreifen cc gleichförmig an a hingleitet. Auf diesem entstehen also, je nach der kürzeren oder längeren Dauer des Stromes, Punkte und Striche, deren Combinationen die einzelnen Buchstaben bedeuten.

Der beschriebene Apparat (B) befindet sich an der Station, nach welcher telegraphirt werden soll. An der Station A, von welcher telegraphirt wird, dient der Schlüssel D dazu, den Strom zu unterbrechen und wiederherzustellen.

Die Figur (153) stellt die Kette als geöffnet dar; drückt man C herab, so geht der Strom von i durch g nach g, zur Kette zurück. Die Feder k dient dazu, den Strom zu unterbrechen, sobald der Druck auf C nachläßt, und die Schraube h verhindert, daß D zu sehr gehoben werde.

Der Copir-Telegraph von Bains beruht auf der chemischen Wirkung des galvanischen Stromes, nämlich darauf, daß Jodkalium durch ihn zersetzt und

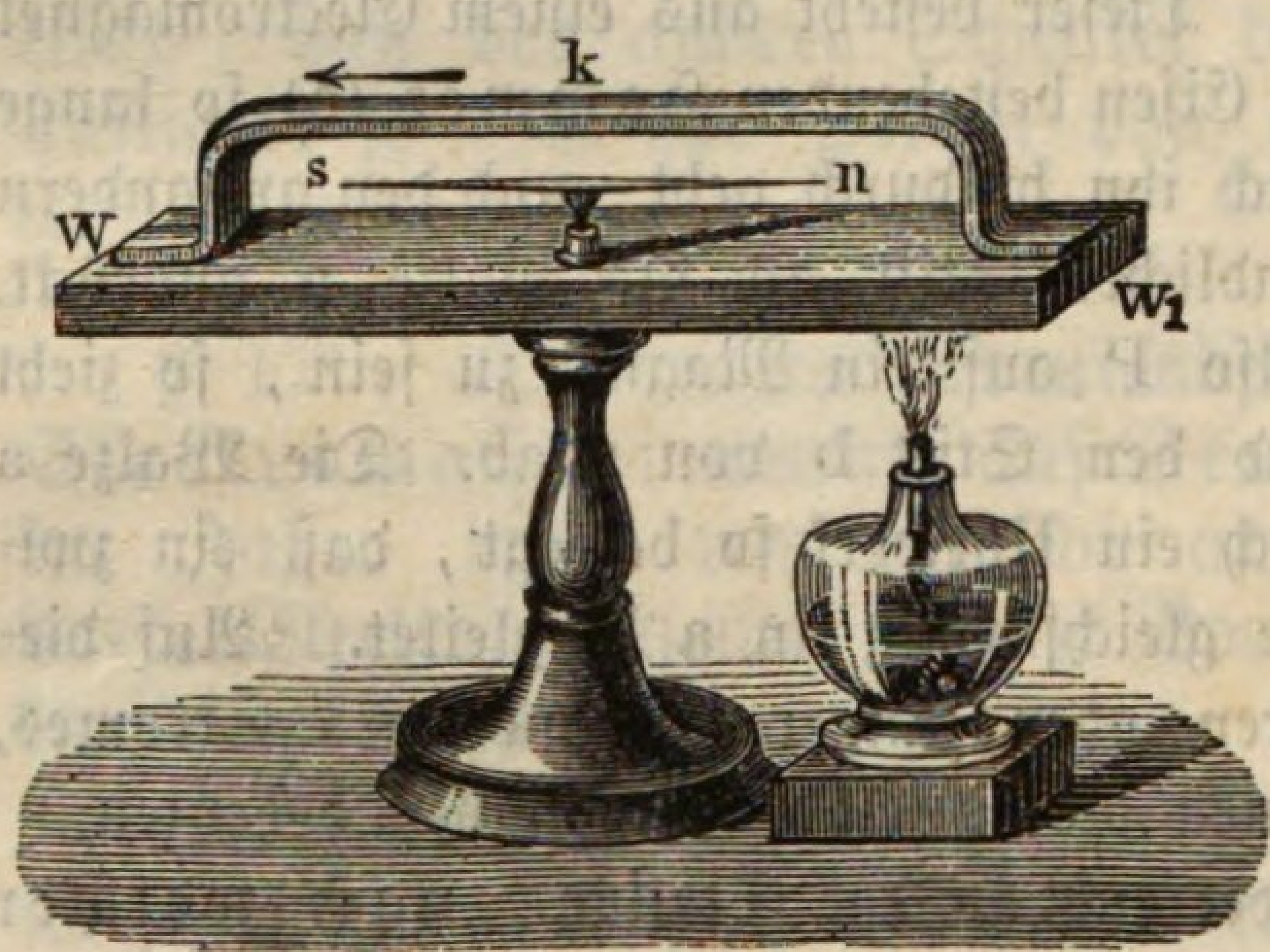
Jod an der Anode ausgeschieden wird. Der Apparat besteht aus zwei congruenten Walzen, welche durch ein Uhrwerk oder durch Electromagnetismus mit großer Schnelligkeit ganz gleichförmig um ihre Axen so gedreht werden, daß sie sich in der Richtung derselben langsam fortschieben.

Die eine Walze (B) befindet sich auf der das Telegramm empfangenden Station und ist mit feuchtem Papier überzogen, welches mit Stärke und Jodkalium getränkt ist. Ein an dieselbe fest angedrückter Metallstift muß, so lange durch ihn ein positiver Strom geht, eine eng gewundene blaue Schraubenlinie erzeugen, da das frei werdende Jod die Stärke blau färbt. Die andere Walze (A) befindet sich auf der telegraphirenden Station und ist mit feuchtem Papier überzogen, auf welchem das Telegramm mit einer nicht leitenden Dinte geschrieben ist. Auch auf ihr befindet sich fest anliegend ein metallner Stift (die Anode), welcher bei der Drehung der Walzen ganz eben so wie der auf B eine Schraubenlinie beschreibt und, wenn die Walze A mit dem Stift auf B leitend verbunden ist, den Strom auf B leitet und die Blaufärbung des Papiers bewirkt. Gleitet der Stift aber über die Schrift, so wird der Strom unterbrochen, und das Papier auf B bleibt weiß. Es entsteht also auf der Walze B eine weiße Schrift auf blauem Grunde.

Die Zurückleitung des Stroms von B nach der Kette kann, nach Steinheil's Entdeckung, sowohl bei diesem, als bei allen andern Telegraphen, durch die Erde bewirkt werden.

3) Thermoëlectricität.

Fig. 154.



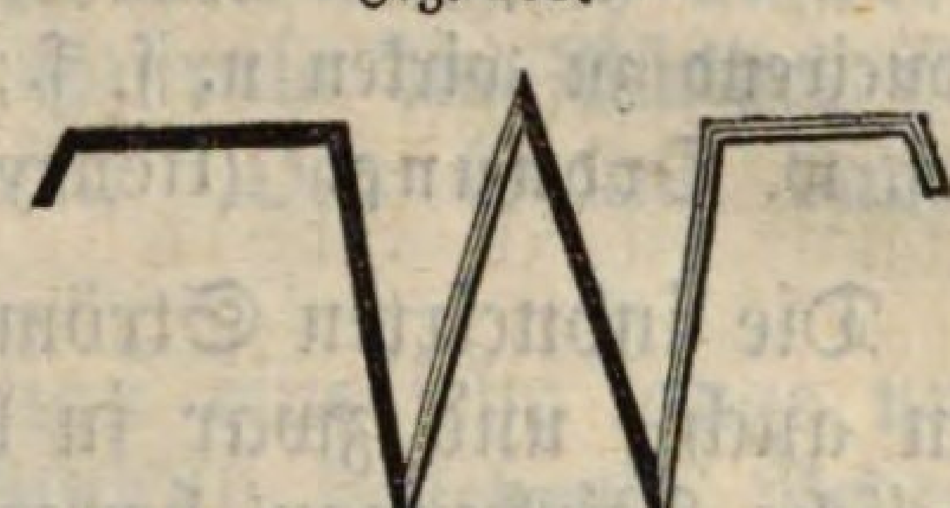
§ 177. Auch durch die Wärme kann man einen electrischen Strom in zwei differenten Metallen erregen, wenn diese zu einem geschlossenen Ganzen zusammengelöthet sind. Der Strom giebt sich vorzugsweise durch seine Einwirkung auf die Magnetnadel, also durch Erzeugung von Magnetismus, zu erkennen. Deshalb heißt die Thermoëlectricität auch Thermomagnetismus. Seebeck, der Entdecker dieser Ströme, wies sie nach, indem er über einem Wismuthstäbchen ww, (Fig. 154) einen kupfernen Bügel k anlöthete und den Apparat an einer Löthstelle (z. B. w,) erwärmte. Befindet sich der Apparat im magnetischen Meridian, so wird der Nordpol n einer innerhalb schwebenden Magnetnadel sn nach Osten abgelenkt. In der Löthstelle geht also ein electrischer Strom vom Wismuth zum Kupfer und in diesem südlich weiter. Dasselbe tritt ein, wenn man die Löthstelle w unter

die Temperatur von w, bringt, und das Entgegengesetzte, wenn man die Löthstellen vertauscht.

In allen Fällen geht der Strom an der wärmeren Löthstelle vom Wismuth zum Kupfer und hält so lange an, als die beiden Löthstellen noch verschiedene Temperatur haben.

Untersucht man die übrigen Metalle, so findet man, daß sie sich in eine „thermoëlectrische Spannungsreihe" ordnen lassen, in welcher der Strom an der wärmeren Löthstelle immer von dem früheren zum folgenden Metalle geht. Der Analogie mit der Volta-schen Reihe gemäß nennt man jedes vorangehende Metall in Bezug auf das folgende negativ. Die Reihe beginnt mit Wismuth, Nickel und Platin und endet mit Eisen, Antimon und Tellur. Die electromotorische Kraft ist auch hier um so größer, je weiter die zwei Metalle in jener Reihe von einander entfernt sind, und die Erregung gleich der Summe der Erregungen zwischen den dazwischen liegenden Gliedern.

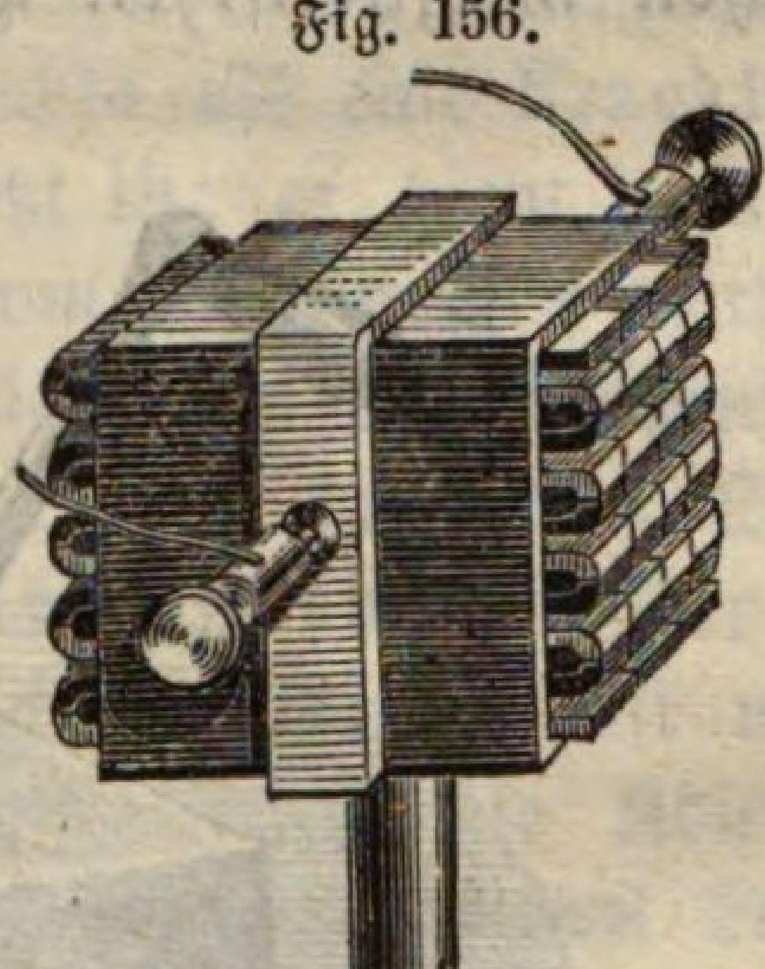
Fig. 155.



Die Intensität des Stromes steigt, wenn man mehrere Stäbchen aus Wismuth und Antimon (oder Neusilber und Eisen) abwechselnd zusammenlöthet und die 1ste, 3te, 5te u. s. w. Löthstelle erwärmt, und noch mehr, wenn man außerdem die dazwischen liegenden erkältet. Thermoëlectrischer Kamm Fig. 155; Thermosäule von Nobili Fig. 156.

4) Inducirte Electricität.

Fig. 156.



§ 178. So wie die Reibungs-Electricität in einem genäherten Leiter durch Influenz Electricität hervorruft, so erzeugt auch der galvanische Strom in einem ihm nahen, geschlossenen metallischen Ringe einen zweiten Strom, welchen Faraday, sein Entdecker (1831), den inducirten Strom oder inducirte Electricität nannte.

Fig. 157.



Wenn man nämlich einen hölzernen Hohlcylinder (Fig. 157) mit zwei sehr langen, dünnen, mit Seide übersponnenen, also isolirten Kupferdrähten umwickelt und die Enden des einen mit einem Galvanometer (§ 174), die Enden des andern mit den Polen einer galvanischen Kette verbindet, so wird im Augenblick der Schließung die

Magnetnadel abgelenkt. Es entsteht also in dem metallnen Ringe, von welchem der Multiplicator ein Theil ist, ein Strom, und zwar, wie die Ablenkung der Nadel ergiebt, ein dem inducirenden entgegengesetzter; derselbe ist aber nur momentan, die Nadel kommt bald wieder zur Ruhe. Oeffnet man die Kette, so schlägt die Nadel nach der entgegengesetzten Richtung aus; es entsteht also ein (ebenfalls nur vorübergehender) dem inducirenden gleichgerichteter Strom.

Wie läßt sich dieß mittelst Analogie mit der Electricität durch Vertheilung erklären?

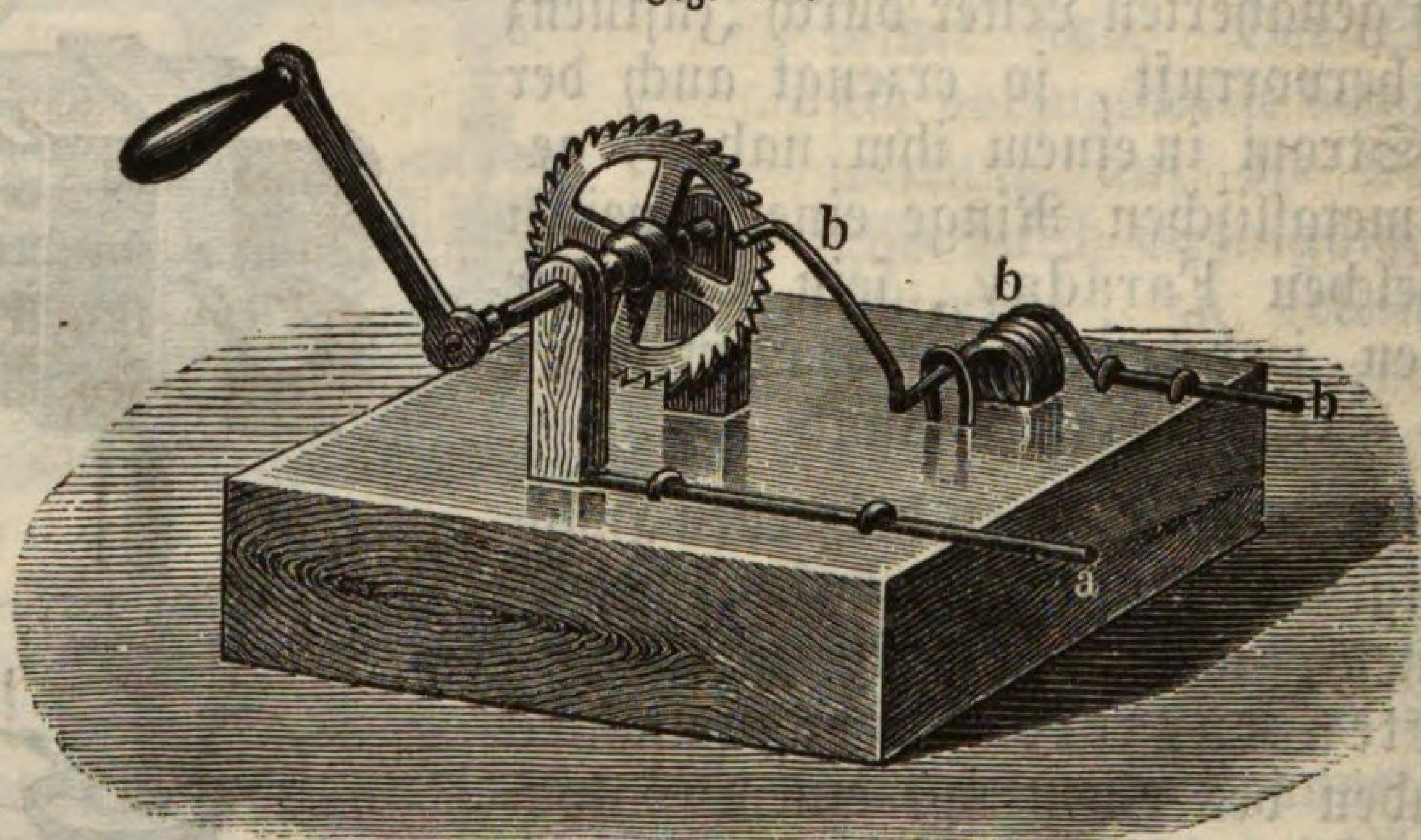
Eine Verstärkung des inducirenden Stroms wirkt wie ein neu erregter, eine Schwächung so wie eine Unterbrechung des Stromes.

Um nach Belieben die Wirkung des inducirenden Stromes durch Näherung oder Entfernung desselben steigern oder schwächen zu können, windet man den einen Kupferdraht um eine Holzspule, den andern um eine etwas weniger weite, welche in die erste hineingeschoben wird, und befestigt diese auf einem beweglichen Schlitten (du Bois-Reymond's Schlittenapparat).

Der inducirte Strom vermag selbst wieder auf eine geschlossene „Spirale" inducirend zu wirken u. s. f.; man erhält somit Inductionsströme 2ter, 3ter u. s. w. Ordnung. (Henry.)

Die inducirten Ströme wirken nicht bloß magnetisch, sondern bringen auch, und zwar in hohem Grade, Lichterscheinungen und physiologische Wirkungen hervor. Um letztere zu erhalten, braucht man nur an die Enden der „Nebenspirale" metallne Handgriffe anzulöthen und dieselben mit feuchten Händen anzufassen. Die Wirkungen steigern sich sehr, wenn man den Strom oft und rasch hinter einander unterbricht und wiederherstellt — mittelst verschiedener Arten „Rheotome", z. B. des Unterbrechungsrades (Fig. 158), des Wagner'schen magnetischen Hammers u. a. m. (Neef's Apparat.)

Fig. 158.



§ 179. Endlich wirkt ein galvanischer Strom, welcher in einer aus vielen Windungen bestehenden Spirale kreist, auch auf die Spi-

rale selbst inducirend. Der hervorgerufene Strom, welchen Faraday zuerst gründlicher untersuchte und **Extrastrom** nannte, zeigt sich bei der Oeffnung der Kette einerseits durch besonders lebhafte Funken, andererseits durch physiologische Wirkungen, nämlich heftige Schläge wie bei Entladung einer Leydner Flasche. Für diesen Zweck muß man den menschlichen Körper so in den Stromkreis einschalten, daß er bei Unterbrechung des Stroms mit der Spirale ein geschlossenes Ganze bildet. Gleichgiltig ist es dabei, ob die galvanische Kette dann noch einen Theil dieses Ganzen ausmacht oder nicht.

Auch die andern Wirkungen galvanischer Ströme hat Faraday durch den Extrastrom hervorgebracht und damit die Richtigkeit seiner ursprünglichen Erklärung des Vorgangs dargethan, nämlich nachgewiesen, daß der primäre Strom beim Schließen der Kette in den benachbarten Windungen der Spirale einen entgegengesetzten und beim Oeffnen einen gleichgerichteten Strom hervorruft. Den ersteren, durch den inducirenden Strom sehr geschwächten, hat Dove überzeugend nachgewiesen.

Alle Wirkungen der inducirten Ströme werden dadurch außerordentlich erhöht, daß man in die inducirende Spirale ein Bündel isolirter Stäbchen aus weichem Eisen hineinsteckt. Den Grund davon giebt der folgende Paragraph an.

Um lebhafte Funken zu erhalten, muß man eine sehr lange und aus vielen Windungen (bei Ruhmkorff über 30000) bestehende Nebenspirale anwenden und den Oeffnungsstrom rasch verlaufen lassen. Dieß geschieht in dem **Ruhmkorff'schen Apparat** mittelst des Foucault-schen (oder Stöhrer'schen) **Interruptors** und des Fizeau'schen **Condensators**.

Der erstere hat vor den andern Commutatoren den Vorzug, daß er den Strom augenblicklich unterbricht und dadurch die Intensität des Oeffnungsstromes erheblich steigert. Der Fizeau'sche Condensator ist nichts als eine Franklin'sche Tafel, deren Glas durch gefirnißten Wachstaffet ersetzt ist; er dient dazu, den Extrastrom aufzunehmen, wenn der inducirende Strom unterbrochen wird; es stehn nämlich die Enden der Hauptspirale mit den Belegungen des Condensators in metallischer Verbindung. Die ausführlichere Beschreibung kann dem Schüler nur an einem Apparate verständlich werden. (Ein solcher Ruhmkorff'scher „Inductor" eignet sich sehr dazu, um die Funken in höchst verdünnter Luft und in Gasen (Geissler'schen, eigentlich Gassiot'schen Röhren), ferner die Ablenkung des Lichtstroms durch den Magnet nachzuweisen (de la Rive) und um Leydner Flaschen rasch zu laden und zu entladen.)

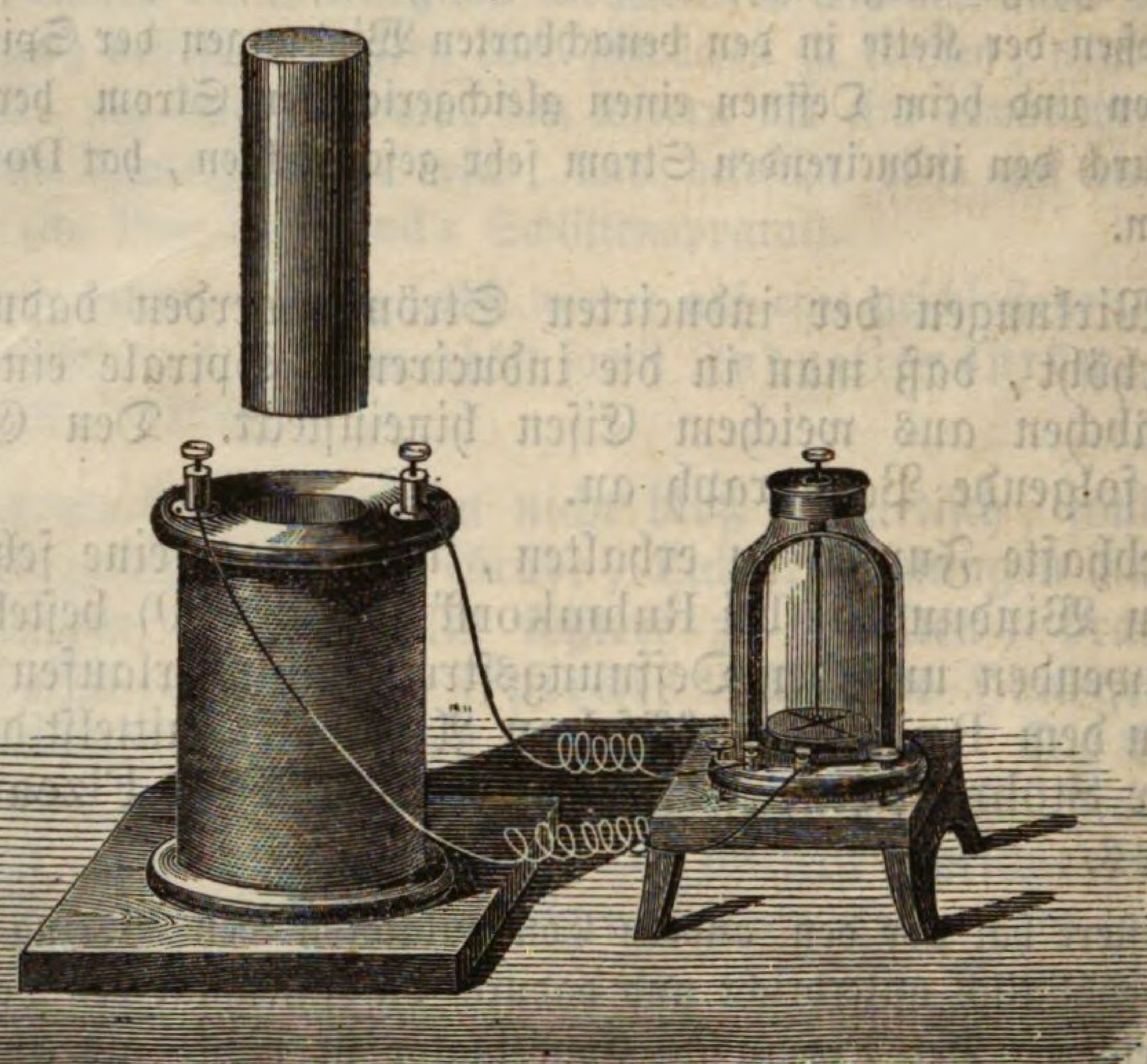
Magnetoëlectricität.

§ 180. Aus der Ansicht, daß der Magnetismus nur das Ergebniß eines den Magnet umgebenden electrischen Stromes ist (§ 175), folgt, daß auch — statt der inducirenden Spirale — ein Magnet in

der Nebenspirale einen Strom hervorrufen muß. Diese, ebenfalls von Faraday entdeckte, Electricität heißt **Magnetoëlectricität** im Gegensatz zu der in den beiden letzten Paragraphen erörterten „Electroëlectricität".

Man weist dieselbe nach, indem man in eine Spirale, deren Enden mit einem Galvanometer verbunden sind, einen Magnetstab einsenkt (Fig. 159). Dann entsteht in der Spirale ein momentaner electrischer Strom, dessen Richtung der Ampère'schen Regel entspricht, und beim Zurückziehn des Stabes der entgegengesetzte. Nimmt man den andern Pol des Magnetstabes, so erhält man die entgegengesetzten Erscheinungen.

Fig. 159.

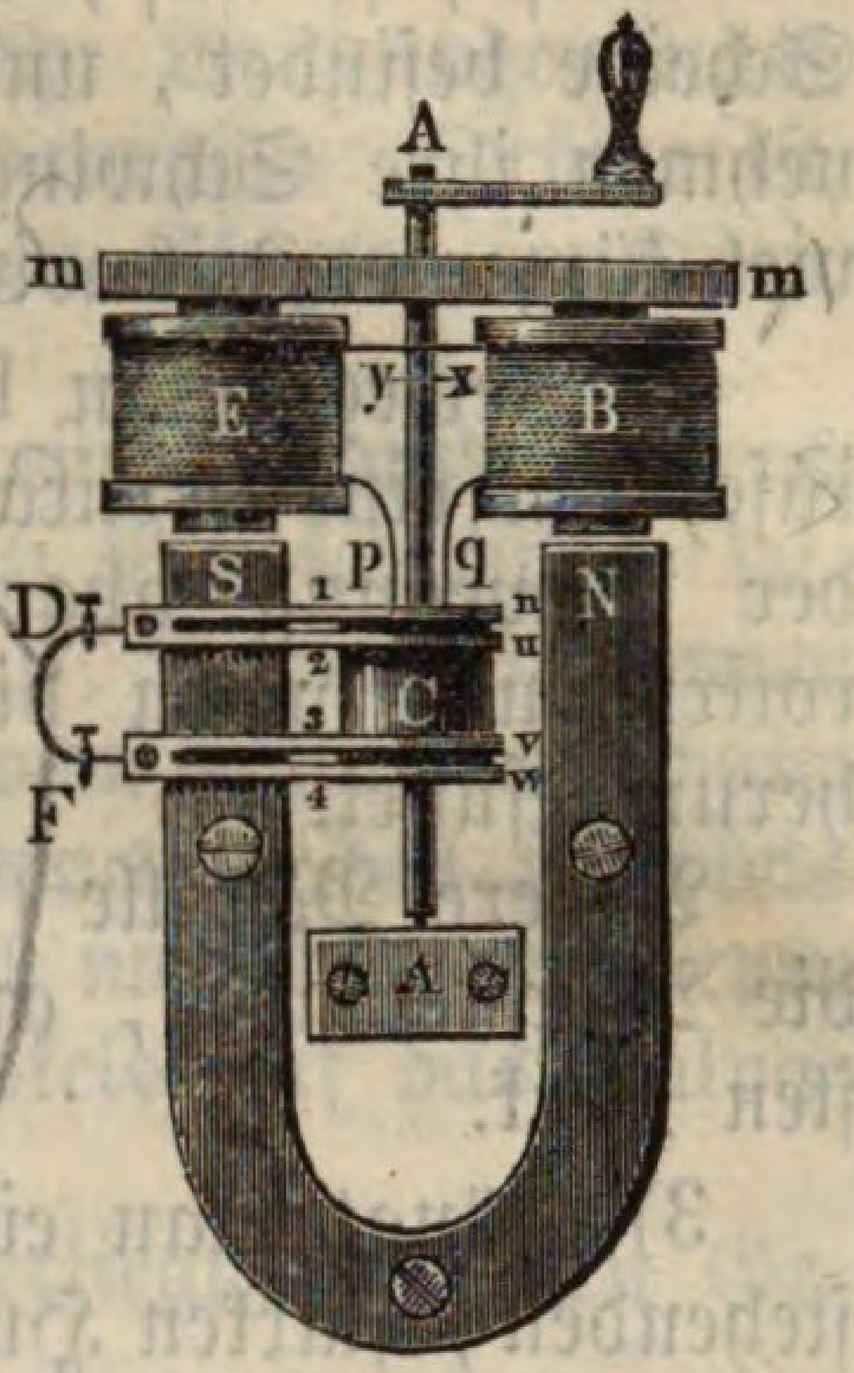


An die Stelle des Magnetstabes, welcher in die Spirale gesenkt und wieder zurückgezogen wird, kann ein Stab aus weichem Eisen treten, welcher in der Spirale befindlich abwechselnd zu einem Electromagnet und wieder unmagnetisch wird.

Das abwechselnde Entstehn und Verschwinden des Magnetismus in einem Eisenkern, welcher von einer Spirale umgeben ist, kann sehr zweckmäßig auf mechanische Weise durch eine Rotation bewirkt werden, welche den Eisenkern an den Polen eines starken Hufeisenmagnets vorüberführt. Dieß geschieht in der **magnetoëlectrischen Rotationsmaschine**. Eine solche ist nach Stöhrer's Construction in Fig. 160 der Hauptsache nach dargestellt.

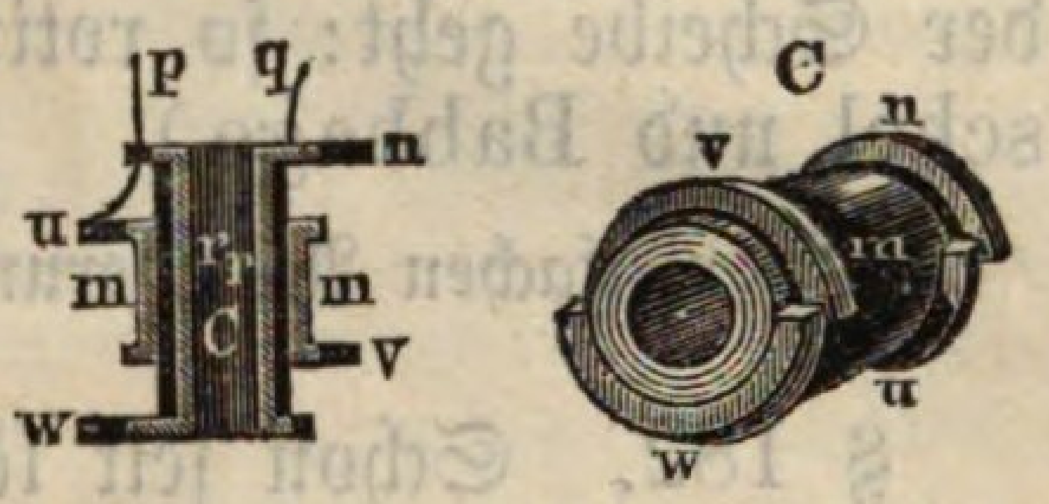
Ihr Inductionsapparat besteht aus einer Eisenplatte mm, auf welcher an den Enden 2 Eisenkerne E und B senkrecht fest angeschraubt und von einem spiralförmig gewundenen Kupferdraht so umgeben sind, daß ein durch die Spirale

Fig. 160.



geführter Strom die Enden der Eisenkerne zu entgegengesetzten Polen machen würde. Die Spiral-Enden p und q führen zum Commutator C, welcher die Umdrehungsaxe A umschließt und in Fig. 161 nochmals im Querschnitt und perspectivisch abgebildet ist. Derselbe besteht aus zwei messingnen Röhren mm und rr, von denen die erste, kürzere, auf die zweite geschoben, aber von ihr durch Buchsbaum getrennt und so befestigt ist, daß zu ihren beiden Seiten die Röhre rr frei liegt. Auf dieser sind zwei halbkreisförmige Stahlringe n und w so aufgelöthet, daß sie sich genau gegenüber liegen, und die Enden etwas übergreifen; eben so auf der Röhre mm die Halbringe u und v. Auf diesen Ringen schleifen die gabelförmigen, bis in die Mitte zwischen den Schenkeln S und N reichenden Stahlfedern (1, 2) und (3, 4). Ist nun das Spiral-Ende q an der Röhre r und p an der Röhre m eingeschraubt, und D mit F irgend wie (durch den menschlichen Körper oder einen Draht u. s. w.) leitend verbunden, so ist der Kreis der Spirale während der Rotation der Axe stets geschlossen. Es müssen nämlich immer zwei der Zinken zwei Stahlringe (n und v oder u und w) und zwar abwechselnd berühren, da n und w, desgleichen u und v durch die Messingröhren mit einander leitend verbunden sind.

Fig. 161.



Da nun der Commutator so gestellt ist, daß der Wechsel in der Verbindung immer dann eintritt, wenn die Richtung des Stroms in der Spirale sich ändert: so muß der Strom im menschlichen Körper (oder im Schließungsdraht) immer in derselben Richtung hindurchgehn. Hiernach würde man nur sehr schwache physiologische Wirkungen erhalten, wenn nicht bei jeder halben Rotation einmal auf sehr kurze Zeit alle Zinken die Stahlkämme berührten, so daß die Spirale schon durch die Federn geschlossen ist, mit Ausschaltung des menschlichen Körpers. Der lediglich in der Spirale circulirende Strom erregt nun, wenn er unterbrochen wird, in den Spiralwindungen einen Extrastrom, welcher dem Körper heftige Schläge ertheilt.

(Nach der Figur wird die rotirende Bewegung der Spirale durch eine einfache Kurbel bewirkt; da sie aber mit großer Schnelligkeit vor sich gehn soll, bringt man die Axe A, wie bei der Centrifugal-Maschine in Fig. 12, durch eine Schnur ohne Ende mit einem Rade an der Welle in Verbindung.)

Pixii, Saxton, Clarke, v. Ettingshausen.

§ 181. In das Gebiet der Magnetoëlectricität gehört auch der von Arago 1825 entdeckte Rotationsmagnetismus, dessen Gesetze sich aus folgenden 3 Fundamental-Versuchen ergeben:

1) Stellt man unter einer horizontal schwebenden Magnetnadel eine horizontale Kupferscheibe, deren Durchmesser etwa gleich der

Nadel ist, so auf, daß der Mittelpunkt der Nadel sich über dem der Scheibe befindet, und versetzt man die Nadel in Schwingungen, so nehmen ihre Schwingungsbogen viel schneller ab, und sie kommt in viel kürzerer Zeit wieder zur Ruhe, als wenn sie frei geschwebt hätte.

2) Bewegt man bei der vorerwähnten Aufstellung die Kupferscheibe rasch um eine verticale Axe, so wird die Nadel sofort in der Richtung der Bewegung abgelenkt, um so stärker, je schneller die Scheibe rotirt, und wenn die Declination 90° überschreitet, mit im Kreise herumgeführt.

Andere Metalle (das Eisen ausgenommen) wirken viel weniger auf die Magnetnadel, am wenigsten Wismuth und Antimon, am meisten Zink.

3) Hängt man eine Kupferscheibe über den Polen eines aufgerichtet stehenden, starken Hufeisenmagnets horizontal auf, so daß ihr Mittelpunkt gleich weit von den Polen entfernt ist, und dreht man den Magnet rasch um eine verticale Axe, welche durch den Mittelpunkt der Scheibe geht: so rotirt die Kupferscheibe mit um jene Axe. (Herschel und Babbage.)

Die vielfachen Abänderungen der Versuche muß ich übergehn.

§ 182. Schon seit längerer Zeit kennt man die electrische Kraft einiger Fische, nämlich des Zitterrochens (Raja torpedo oder Torpedo narke), welcher im mittelländischen und besonders im adriatischen Meere lebt, des Zitterwels (silurus electricus), welcher im Nil, im Niger und andern afrikanischen Flüssen sich findet, und des Zitteraals (gymnotus electricus), welcher in südamerikanischen Seeen und Flüssen „leider" sehr häufig vorkommt.

Am meisten ist der Zitterrochen untersucht worden, und zwar zuerst von Walsh (1772), welcher die electrische Natur desselben erkannte und nachwies, daß die Schläge, welche er austheilt, in der Regel nicht unwillkürliche sind, am sorgfältigsten aber von J. Davy, welcher mittelst desselben auch magnetische und chemische Wirkungen hervorbrachte, und von Matteucci und Becquerel, welche sogar Funken an ihm beobachteten.

Aus diesen Forschungen hat sich ergeben, daß das electrische Organ des Zitterrochens als eine Volta'sche Säule anzusehn ist, und daß der Rücken positiv, der Bauch negativ electrisch ist. — Beim Zitteraal befindet sich der electrische Apparat im Schwanze. — Weitere Mittheilungen hierüber müssen dem Ermessen des Lehrers anheimgestellt werden.

Der Galvanismus ist aber durchaus nicht auf diese wenigen Thiere beschränkt, und Galvani hatte nicht Unrecht, die thierische Electricität als Grund mancher Erscheinungen zu bezeichnen. Daß in Fröschen, sowohl in lebendigen, als in frisch getödteten und präparirten, stets ein Strom vom Fuß nach dem Kopf, d. i. vom Muskel zum Nerven geht, haben Nobili und Matteucci mittelst empfindlicher Galvano-

meter dargethan. Froschstrom. du Bois-Reymond aber wies mittelst eines Multiplicatordrahts von 4600 und mehr Windungen nach, daß dieser Strom nur einer der unzähligen galvanischen Ströme ist, welche in den Muskeln und Nerven aller lebenden Thiere circuliren. Muskelstrom.

Bringt man nämlich den Querschnitt irgend eines Muskels durch ein Galvanometer mit einem Längsschnitt desselben Muskels (oder seiner natürlichen Oberfläche) in leitende Verbindung, so entsteht immer ein galvanischer Strom, welcher im Muskel vom Querdurchschnitt zum Längenschnitt gerichtet ist. Durch eine Contraction des Muskels wird der Strom geschwächt. Auch am unverletzten menschlichen Körper läßt sich die Wirkung der Contraction eines Muskels auf das Galvanometer nachweisen.

Der von den Nerven erzeugte Strom unterliegt denselben Gesetzen.

Nöthige Berichtigungen:

S. 15 Z. 1 v. o. lies BG statt BD.

S. 15 Z. 5 v. u. lies $\frac{c}{g} - \tau$ statt $\frac{c}{g} = \tau$.

S. 16 Z. 5 v. u. lies ungleichmäßig statt gleichm.

S. 24 Z. 7 v. o. lies Zink statt Messing.

S. 30 Z. 5 v. u. lies geringer statt größer.

S. 37 Z. 15 v. u. lies aus statt auf.

S. 49 Z. 1 v. o. lies welcher statt welche.

S. 49 Z. 2 v. o. lies wird statt war.

S. 51 Z. 4 v. u. lies anderen statt anderer.

S. 15 lies Fig. 65a statt 65 und Fig. 65b statt 65a.

S. 59 Z. 4 v. o. lies herabgehe statt herabgehen.

S. 78 ist Fig. 93 umzukehren.

S. 106 Z. 13 v. u. lies zeigen statt erleiden.

S. 117 Z. 10 v. o. lies: vereinigt, daß es . . . projicirt

S. 121. Z. 20 v. u. ist „es" zu streichen.

Professor Dr. Ludwig Kambly's
Elementar-Mathematik.

Erster Theil. Arithmetik und Algebra.

Zweiter Theil. Planimetrie.

Dritter Theil. Ebene u. sphär. Trigonometrie.

Vierter Theil. Stereometrie.

Vollständig in vier Theilen. Mit zahlreichen lithographirten Abbildungen.

Zur Orientirung über Kambly's Elementar-Mathematik ist zunächst zu bemerken, daß dieselbe nur ein Leitfaden für die Schule, nicht ein ausführliches Lehrbuch für den Selbstunterricht oder für tiefer eingehende Studien sein soll. Der Verfasser mußte sich deshalb auf das Unentbehrliche beschränken; er konnte manches den Erläuterungen des Lehrers überlassen, was ein ausführliches Handbuch in extenso mittheilen muß, eben so mit Rücksicht auf die Hülfe des Lehrers vieles andere dem Nachdenken der Schüler anheimgeben, was dem Autodidakten zuzumuthen bedenklich sein würde.

Daß alles ausgeschlossen worden ist, was über den Bereich des Schulunterrichts hinausgeht — wie die Entwickelung der logarithmischen und der trigonometrischen Reihen und die Erweiterung des Binomialsatzes auf negative und gebrochene Exponenten — wird allseitiger Billigung gewiß nicht ermangeln; dagegen werden vielleicht manche Lehrer, namentlich Lehrer an Realschulen, die Ergebnisse der neueren Geometrie — die Lehre von den Harmonikalen und Transversalen, von den Polaren und Chordalen der Kreise u. s. w. — vielleicht auch die Anwendung der Kreisfunctionen auf die Auflösung der quadratischen Gleichungen und die Theorie der höheren arithmetischen Reihen vermissen. Es mußten aber diese Abschnitte aus dem Grunde wegbleiben, weil auf Gymnasien, deren Bedürfnisse der Verfasser vorzugsweise zu berücksichtigen hatte, für derartige Untersuchungen nur selten die erforderliche Zeit erübrigt wird. Doch auch in diesem Falle kann die Ausschließung der erwähnten Theile der Mathematik nur erwünscht sein, da sie dem Lehrer Gelegenheit giebt, abwechselnd den einen oder den andern in den Kreis des Unterrichtes zu ziehen und in demselben einmal vollkommen heuristisch zu verfahren, was immer unmöglich sein wird, wenn die Schüler einen nur einiger Maßen ausführlichen Leitfaden oder Hefte aus früheren Lehrcursen in den Händen haben. Zu solchem heuristischen Unterrichte eignen sich aber jene Abschnitte mehr als alle anderen, weil sie entweder nicht sehr umfangreich sind, oder doch sich nach Belieben abgrenzen lassen und, wenn auch außerhalb der systematischen Entwickelung stehend, doch mit Leichtigkeit sich an sie anschließen.

Ueber die vielfach erörterte Frage, ob ein mathematischer Leitfaden die Beweise vollständig ausführen, oder nur in einigen wenigen Hauptzügen andeuten solle, hat der Verfasser sich in seinem Vorwort zur Planimetrie zur Genüge ausgesprochen; er glaubt deshalb, an dieser Stelle um so mehr sich weiterer Auseinandersetzungen enthalten zu dürfen, als ein Mann von unbestreitbarer Competenz, Professor Kunze in Weimar, sich in dem Vorwort zu seinem vortrefflichen Lehrbuche der Geometrie mit noch größerer Entschiedenheit und in noch ausgedehnterem Sinne für die Ansicht des Verfassers erklärt hat. Natürlich muß jene Ausführlichkeit sich stets von jeder Breite und von ermüdender Umständlichkeit frei halten und den vorgeschritteneren Schülern gegenüber sich allmählich in engere Grenzen zurückziehen. Aus diesem Grunde ist in der Trigonometrie und in der Stereometrie viel mehr als in den andern Theilen des Werkes, wenn auch nicht im Anfange, doch im weiteren Verlaufe der Darstellung, die Selbstthätigkeit der Schüler in Anspruch genommen worden.

Als Form des Vortrages hat der Verfasser die synthetische Methode gewählt; denn obgleich vom wissenschaftlichen Standpunkte aus der Werth genetischer Entwickelung nicht zu verkennen ist, so muß man doch in didaktischer Beziehung erhebliches gegen sie einwenden. Zuvörderst scheint sich — nach allen bisher bekannt gewordenen Versuchen — eine lästige, ja geradezu unerträgliche Breite schwer von ihr fern halten zu lassen: und doch ist Kürze des Ausdrucks gewiß ein ganz unerläßliches Erforderniß, welches kaum irgend einer Rücksicht geopfert werden darf. Ferner verwischt sie die individuelle Bedeutung der einzelnen Sätze vollständig: und doch ist es von der höchsten Wichtigkeit, daß der Schüler jeden Satz in seiner Eigenthümlichkeit auffasse, sich seines Verhältnisses zu andern, sowie aller Voraussetzungen, unter welchen er auftritt, klar bewußt werde, und von ihnen ausgehend, das Ziel unverrückt vor Augen, den geeigneten Weg finden und verfolgen lerne. Wie unumgänglich nöthig dieß sei, erkennen auch die Gegner des synthetischen Verfahrens wohl an und verstehen sich demzufolge zu der Concession, daß sie den zurückgelegten Weg noch einmal in synthetischer Weise zu durchlaufen empfehlen. Durch ein

solches Zugeständniß aber begiebt man sich des Rechtes, so absprechend und verurtheilend, als zuweilen geschehen ist, gegen synthetische Darstellungen zu eifern.

Der Verfasser weiß sehr wohl, daß er mit diesem seinem Bekenntnisse bei denen höchlich anstößt, welche von der genetischen Methode das alleinige Heil des Unterrichtes erwarten und nur nach dieser Devise fremde Leistungen beurtheilen. Und doch weicht er in seinen Anforderungen an einen gedeihlichen Unterricht von den Vertheidigern des genetischen Verfahrens nicht wesentlich ab; nur meint er, daß dieselben die Form der Darstellung und die Anordnung des Inhaltes mit einander verwechseln. Die letztere muß nämlich sicher eine solche sein, daß man an ihr einen stetigen Fortschritt der Entwickelung, die nothwendige Bewegung des mathematischen Denkens nachweisen kann. Ob eine solche Gliederung des Stoffes in dem vorliegenden Werke erreicht ist, wird aus der nachfolgenden Uebersicht des Inhaltes sich unschwer erkennen lassen.

Von dem Begriffe der (absoluten ganzen) Zahl beginnend, untersucht die allgemeine Arithmetik zunächst die Verbindung der Zahlen zu Summen und Differenzen, Producten und Quotienten. Die Subtraction involvirt den Werth Null, das Unendlichkleine und mit ihm das Unendlichgroße, die Division dagegen die Kategorie der gebrochenen Zahlen und die Theorie der geometrischen Verhältnisse und Proportionen.

Durch Erweiterung des Begriffes „Differenz" gelangt man demnächst zu den negativen (algebraischen) Zahlen, zu ihrer Addition, Subtraction, Multiplication, Division, Potenzirung und Radicirung, somit zu den neuen Zahlwerthen, den irrationalen und imaginären Wurzeln, endlich zu den Logarithmen.

So weit die identischen Gleichungen. Von ihnen wendet sich die Betrachtung zu den Bestimmungsgleichungen und deren Anwendung auf die arithmetischen und geometrischen Reihen und die Zinses-Zins-Rechnung. Den Schluß bildet die Combinationslehre behufs der Begründung des Binomialsatzes.

Der Anhang enthält die Lehre von den Decimalbrüchen und Kettenbrüchen in solcher Behandlung, daß sie dem wissenschaftlichen Unterrichte vorangehen kann, außerdem die Lehre von der Theilbarkeit der ganzen Zahlen und die Theorie der Diophantischen Gleichungen.

Die Planimetrie geht von den Eigenschaften einer Geraden, zweier einander schneidender Geraden und der parallelen Linien aus, betrachtet darauf drei oder mehr in mehr als zwei Punkten einander schneidende Gerade, nämlich die Triangel (ihre Seiten und Winkel, ihre Uebereinstimmung in Seiten und Winkeln und die aus der Congruenz sich ergebenden Bestimmungen), dann die Vierseite, insbesondere die Parallelogramme, endlich die Eigenschaften des Kreises und der regulären Polygone.

Einen neuen Abschnitt bildet die Lehre vom Flächeninhalt geradliniger Figuren, ihre Vergleichung, Verwandlung, Theilung und Berechnung.

Somit tritt in die Geometrie der Begriff der Zahl, des Maßes ein, die wahre Grundlage der Proportionalität; an die letztere schließt sich unmittelbar die Aehnlichkeit der geradlinigen Figuren, die Proportionalität der Linien am Kreise, ferner die Berechnung der Seiten und Flächeninhalte der regulären Polygone und des Kreises, endlich die eigentliche rechnende Geometrie und die Construction algebraischer Ausdrücke.

Dem planimetrischen Theile entsprechend ist der Lehrgang der Stereometrie, deren Hauptabschnitte 1) die Lage gerader Linien gegen Ebenen und gegen einander (gerade Linien, welche eine Ebene schneiden, und gerade Linien, welche einer Ebene parallel sind) und die Lage der Ebenen gegen einander (zwei einander schneidende, zwei parallele und drei oder mehr durch einen Punkt gelegte Ebenen), 2) die Körper in Beziehung auf ihre Grenzen und Durchschnittsfiguren, nämlich die polyedrischen Körper (Prisma, Pyramide und die übrigen Polyeder) und die krummflächigen Körper (Cylinder, Kegel und Kugel), 3) die Ausmessung des räumlichen Inhalts und der Oberfläche der Körper, nämlich Prisma und Cylinder, Pyramide und Kegel und die Kugel behandeln.

Den Anhang bildet die Construction der regulären Polyeder, die Berechnung ihrer Volumina und der Neigungswinkel ihrer Seitenflächen und Kanten, nebst einer großen Anzahl (127) von Uebungsaufgaben.

Der ebenen Trigonometrie, deren Aufgabe in die Auflösung der rechtwinkligen (und der gleichschenkligen) und in die Lösung der ungleichseitigen schiefwinkligen Triangel zerfällt, geht die Goniometrie voran, nämlich die Erklärung der trigonometrischen Functionen spitzer Winkel, die Darlegung ihrer Abhängigkeit von einander, ihre Aenderung nach Maßgabe der Winkeländerung und die Entwickelung der Functionen zusammengesetzter Winkel.

Der ebenen Trigonometrie analog ist die sphärische eingetheilt, und beiden eine reiche Sammlung von Uebungsaufgaben beigefügt.

Was die Präcision des Ausdrucks und die Klarheit der Darstellung betrifft, so scheint die Elementar-Mathematik des Verfassers allen Anforderungen zu genügen; wenigstens ist in dieser Beziehung von den meisten Beurtheilungen Lob, von keiner ein Tadel ausgesprochen worden.

Aus Ferdinand Hirt's Verlag für Bibliotheken höherer Lehranstalten.

Grammatische Studien. Eine Sammlung sprach-wissenschaftlicher Monographien. In zwangloser Folge. Zweiter Theil. 1868.
Der Erste Theil, jüngst erschienen, enthält: Der Conjunctiv Perfecti und das Futurum exactum im älteren Latein von Dr. **Eduard Lübbert**, Professor an der Universität Gießen. Gr. 8. Geh. 22½ Sgr.. Jeder Theil der Sammlung ist einzeln käuflich.

Römische Studien. Eine Sammlung wissenschaftlicher Monographien im Gebiete der Römischen Geschichte, Alterthümer und Rechtsgeschichte. In zwangloser Folge. 1868.
Der erste und zweite Theil umfassen: Das alte Römische Jahr und seine Tage. Vom Geheimen Rathe Prof. Dr. **Ph. E. Huschke.** 1868. Erscheint bis zum Herbst.

Studien und Andeutungen im Gebiete des altrömischen Bodens und Cultus. Von Dr. Athanasius Ambrosch. Geh. 1 Thlr. 25 Sgr.

Tausend und eine Nacht, Arabisch. Von M. Habicht und H. L. Fleischer. Einzig vollständige Ausgabe in 12 Bänden, à 2 Thlr. Gesammtpreis 24 Thlr.

Salices Europaeae. Recensuit et descripsit Dr. Fr. Wimmer. 3 Thlr.

Theophrasti Eresii historia plantarum. Cum adnotatione edidit Dr. Fr. Wimmer. 3 Thlr. Ermässigter Preis 1 Thlr.

Mineralogische Studien. Siehe gegenüber Seite 175.

Atlas der Naturgeschichte, in nahe an dreitausend naturgetreuen Abbildungen. Nach Zeichnungen von Koska, v. Kornatzki, Haberstrohm, Georgy, Baumgarten und anderen Künstlern, in Holzschnitt ausgeführt von Eduard Kretzschmar und Hugo Bürkner. Mit erläuterndem Text. Vollständig in einem Bande, in Halbfranz geschmackvoll gebunden 5 Thlr. 22½ Sgr. Drei einzelne Bände, sauber geheftet, 5 Thlr, elegant cartonnirt 5 Thlr. 15 Sgr.

Gedenktage deutscher Geschichte von Prof. Dr. J. Kutzen. In drei Abtheilungen. Erste Abtheilung. Der Tag von Kolin, 1 Thlr. 10 Sgr. Zweite Abtheilung: Der Tag von Leuthen, 1 Thlr. 5 Sgr. Dritte Abtheilung: Der Tag von Liegnitz, 20 Sgr. In 3 Bänden. Geh. 3½ Thlr.

Das deutsche Land. Von Prof. Dr. J. Kutzen. Siehe Seite 176.

Fritsch, Dr. Gustav, Drei Jahre in Süd-Afrika. Reiseskizzen. Nach des Verfassers Photographien und Originalzeichnungen reich illustrirt. Erscheint im Herbst 1868.

G. W. v. Leibnitz. Eine Biographie von G. E. Guhrauer. 2. vermehrte oder Jubel-Ausgabe. Mit Leibnitzens Bildniß. 2 Bände. 4 Thlr.

Mirabeau's Jugendleben. Zum Verständniß der gesellschaftlichen Zustände Frankreichs unmittelbar vor der Revolution. Von Dr. Fr. Lewitz. 2 Thlr. 15 Sgr.

Franz Passow's Leben und Briefe. Eingeleitet von Dr. Ludwig Wachler. 2½ Thlr.

Bobertag, Dr. R., Das evangelische Kirchenjahr in sämmtlichen Perikopen des neuen Testaments dargestellt. Zur Erweiterung, Berichtigung und Belebung des Schriftgebrauchs, insbesondere auch im Religions-Unterrichte. 2. Auflage. 3 Thlr.

August Hermann Francke. Ein Lebensbild. Neu bearbeitet von Dr. Eckstein. Reich illustrirt. Familienausgabe 25 Sgr. Jubelausgabe 17½ Sgr. Volksausgabe 10 Sgr.

Melchior von Diepenbrock, Cardinal und Fürstbischof. Ein Lebensbild. Von seinem Nachfolger auf dem bischöflichen Stuhle, Dr. Heinrich Förster. Oktavausgabe, 1 Thlr. 5 Sgr.; Miniaturausgabe, 20 Sgr.

Aus Ferdinand Hirt's „Bibliothek des Unterrichts."

Zum Unterricht in der Muttersprache.

Deutsches Lesebuch von den Reallehrern Auras und Gnerlich. Mit Vorwort von Dr. Kletke, Direktor. In 2 Theilen. I. Theil: 7te vermehrte und verbesserte Aufl. 22½ Sgr.; II. Theil: 4te verbesserte Auflage, 22½ Sgr.

Deutsches Lesebuch, für das mittlere Kindesalter. Von den Brüdern K. und L. Seltsam. 6te wesentlich verbesserte und vermehrte Bearbeitung. Illustrirt durch naturgeschichtliche Abbildungen und geographische Skizzen. Preis 12½ Sgr.

Zum Unterricht im Lateinischen.

Sauppe, Dr. Gustav, Themen zu lateinischen Aufsätzen für die oberen Klassen höherer Lehr-anstalten, meistentheils aus alt-klassischen Schriften zusammengestellt. Zweite, durch 200 Themen vermehrte Ausgabe. 1868.

Sauppe, Dr. G., Neue Themen zu lateinischen Aufsätzen für die oberen Klassen höherer Lehranstalten. Eine Nachlese für die Besitzer der ersten Ausgabe des Buches. 1868.

Zum Unterricht im Polnischen.

Kampmann, Prof. Dr. C. F., Elementarwerk der polnischen Sprache. Erster Theil: Kurzgefaßte Grammatik. Nebst etymologischem Wörterbuche von A. Mosbach. 2te verbesserte Ausgabe. 17½ Sgr. Zweiter Theil: Lesebuch. Leichte und schwere Lesestücke, aus klassischen Schriftstellern ausgewählt. 2te, wesentlich vermehrte Ausgabe. Nebst Wörterbuch. 15 Sgr. Dritter Theil: Uebungen zum Uebersetzen aus dem Deutschen in's Polnische. Mit Wörterbuch. 22½ Sgr.

Aus Ferdinand Hirt's Bibliothek des naturwissenschaftlichen Unterrichts.

Für den zoologischen Unterricht:

Das Thierreich. Mit 640 Abbildungen. (Theil I. von Schilling's größerer Schul-Naturgeschichte) Neunte Bearbeitung. Zweiter Abdruck. 1867.

Atlas des Thierreichs. In mehr als 1000 Abbildungen der Thierwelt, wie von — nach den fünf Welttheilen geordneten —' Gruppen der Völker und Thiere. Nach Originalzeichnungen. Mit erläuterndem Text.

Schilling's Schul-Atlas des Thierreichs. Zur Belebung und Förderung der vergleichenden Anschauung In 500 Abbildungen. Ein Ergänzungsband zu jedem naturgeschichtlichen Lehrbuche.

Für den botanischen Unterricht:

Das Pflanzenreich, nach dem Linné'schen System, unter Hinweisung auf das natürliche System. Nebst einem Abriß der Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie. Mit 613 Abbildungen. (Theil II. von Schilling's größerer Schul-Naturgeschichte.) Neunte Bearbeitung. 1868.

Das Pflanzenreich, nach dem natürlichen System, unter Hinweisung auf das Linné'sche System. Nebst einer Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie. Von Dr. Fr. Wimmer. Mit zahlreichen Abbildungen. (Ergänzungsband von Schilling's größerer Schul-Naturgeschichte.) Neue Bearbeitung.

Atlas des Pflanzenreichs. In nahe an 1000 Abbildungen von Pflanzen und Bäumen, wie von — nach den Zonen geordneten — Baum- und Pflanzengruppen. Nach Originalzeichnungen. Mit erläuterndem Text.

Schilling's Schul-Atlas des Pflanzen- und Mineralreichs. In 392 Abbildungen aus der Pflanzenwelt und 272 mineralogischen Abbildungen. Zur Förderung der vergleichenden Anschauung.

Flora von Schlesien, preußischen und österreichischen Antheils. Nach natürlichen Familien, mit Hinweisung auf das Linné'sche System. Vom Stadtschulrath, Prof. Dr. Friedrich Wimmer. Vierte, bis 1868 vervollständigte Ausgabe.

Schul- und Excursions-Flora von Schlesien, nach dem Linné'schen System bearbeitet auf Grund der vierten Ausgabe von Fr. Wimmer's Flora. 1868.

Für den mineralogischen Unterricht:

Das Mineralreich. Oryktognosie und Geognosie. Mit 522 Abbildungen. (Theil III. von Schilling's größerer Schul-Naturgeschichte.) Achte Bearbeitung.

Atlas des Mineralreichs. In mehr als 800 Abbildungen aus dem Gebiete der Krystallographie, Petrographie Paläontologie, Geotektonik, Formationslehre und Geologie. Nach Originalzeichnungen. Mit erläuterndem Text.

Schilling's Schul-Atlas des Mineral- und Pflanzenreichs. In 272 mineralogischen Abbildungen und 392 Abbildungen aus der Pflanzenwelt. Zur Belebung der vergleichenden Anschauung.

Für Lehrer-Bibliotheken.

Mineralogische Studien. Eine Sammlung wissenschaftlicher Monographien. In zwangloser Folge. Erster Theil: Die Mineral-Species nach den für das specifische Gewicht derselben angenommenen und gefundenen Werthen. Ein Hülfsbuch zur bestimmenden Mineralogie. Von Professor Dr. **Martin Websky.** 1868.

Für den Anfangs-Unterricht in der Naturgeschichte:

Schilling's kleine Schul-Naturgeschichte. Kleinere Ausgabe von Schilling's Grundriß der Naturgeschichte des Thier-, Pflanzen- und Mineralreichs. Elfte, wesentlich verbesserte und vermehrte Bearbeitung. Vollständig in einem Bande. Mit 764 Abbildungen. 1868.

Schilling's Schul-Atlas der Naturgeschichte. In nahe an 1200 Abbildungen aus dem Thier-, Pflanzen- und Mineralreiche. Zur Belebung und Förderung der vergleichenden Anschauung in dem Gebiete der drei Reiche der Natur. Ein Ergänzungsband zu jedem Lehr- und Lernbuche der Naturgeschichte. Vollständig in einem Bande oder in zwei Abtheilungen, deren erste das Thierreich, deren andere das Pflanzen- und Mineralreich umfaßt.

Für den Unterricht in der Physik.

Die Physik, für den Schul-Unterricht bearbeitet von A. Trappe, Professor und Prorector. 3te Auflage. Mit 245 Abbildungen. 25 Sgr. Geb. 27½ Sgr.

Zum Unterricht in den Anfangsgründen der Chemie.

Duflos, Adolf, Dr. und Prof. Anfangsgründe der Chemie. „Anorganische und organische Chemie." Mit 150 Abbildungen. Ladenpreis: 1⅓ Thlr. Ermäßigter Preis: 25 Sgr. Einzeln: Anorganische Chemie, statt 25 Sgr. 15 Sgr.; Organische Chemie, statt 20 Sgr. 10 Sgr.